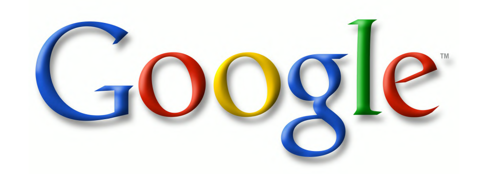


This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at http://books.google.com/



Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

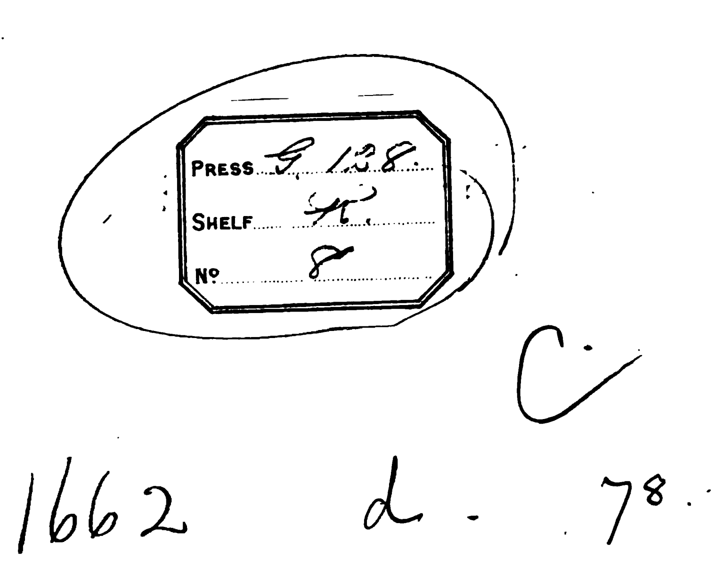
+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.
+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.
+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.
+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.




600026835U



C.
1662 d. 78.





BEITRÄGE

ZUR

PHYSIOLOGIE.

VON

EWALD HERING,

DOCT. MED.

ERSTES HEFT:

VOM ORTSINNE DER NETZHAUT.

MIT 28 HOLZSCHNITTEN.

LEIPZIG,

VERLAG VON WILHELM ENGELMANN.

1861.

ZUR LEHRE

VOM

ORTSINNE DER NETZHAUT.

VON

EWALD HERING.

MIT 28 HOLZSCHNITTEN.

LEIPZIG,
VERLAG VON WILHELM ENGELMANN.
1861.

VORWORT.

In diesen Beiträgen gedenke ich Hauptfragen der Physiologie bruchstückweise zu besprechen. Dabei werde ich bisweilen auf spätere Hefte verweisen müssen, weil es nicht immer möglich sein wird, das eben besprochne Gebiet ganz von den übrigen abzusondern. Dem vorliegenden ersten Hefte müsste z. B. eigentlich die Besprechung des Raumsinnes vorangehen. Umgekehrt aber werde ich den letzteren auf Grund dieses Heftes ergiebiger behandeln können. Bei einer in sich so zusammenhängenden Wissenschaft, wie die Physiologie, sind Uebergriffe aus einem Gebiet ins andre unvermeidlich.

Oefters werde ich neue Bezeichnungen einführen. Da ich dieselben z. B. in diesem ersten Hefte nur dem Deutschen entnehme, so könnte es scheinen, als handelte ich lediglich aus Vorliebe für diese Sprache. Es leiten mich jedoch dabei ganz andre Gründe, die freilich oft erst in einem späteren Hefte zu Tage kommen werden. So liegt z. B. meiner Art der Bezeichnung vielfach die Rücksicht auf die später zu besprechende Psychologie zu Grunde. Dabei gewinne ich zugleich eine grössre Genauigkeit der Bezeichnungen. Es unterscheidet sich z. B. beim Sehen ein Strich sehr wesentlich von einer eigentlichen Linie, ein Fleck von einem Punkte. Strich und Fleck haben Durchmesser, also Rauminhalt, eine Linie hat nur Richtung und Länge, ein Punkt nur Ort. Das hindert aber nicht, dass man sowohl Linien als Punkte *sehen* kann. Wenn eine schwarze und eine weisse Fläche in einer geraden Linie zusammenstossen, so hat diese Trennungslinie keinen Rauminhalt und wird doch gesehen, und wenn zwei solche Trennungslinien sich treffen, so wird der entsprechende Punkt trotz seiner Raumlosigkeit gesehen und zwar ebenfalls raumlos. Liegt aber auf einer weissen Fläche ein schwarzer Strich oder Fleck, so sehe ich ihn stets mit Rauminhalt und stände auch seine Feinheit an der Grenze der Sichtbarkeit. Wie sehr diese einzige begriffliche Unterscheidung bisweilen die Darstellung erleichtert, wird sich bei der Besprechung der auf Physiologie gegründeten Psychologie zeigen. Nicht weil ich die aus dem Lateinischen entlehnten Worte für räumliche Begriffe verschmähe, meide ich sie bisweilen, sondern weil sie mir zu werthvoll sind, als dass ich sie für Begriffe brauchen sollte,

die ein deutsches Wort hinreichend und dabei noch treffender bezeichnet. Wie aber hier, so leiten mich auch in andern Fällen ernsthafte Rücksichten, wenn ich andre als die üblichen Bezeichnungen wähle.

Es ist Pflicht der Dankbarkeit, die Namen derer zu nennen, die einen für die Wissenschaft wichtigen Gedanken zuerst fassten oder nutzbringend anwandten. Allein es ist ohne die umfassendste Kenntniss der Geschichte einer Wissenschaft unmöglich, hierbei immer ganz gerecht zu sein. Möge man mir also etwaige Verstösse verzeihen. Was dieses erste Heft betrifft, so sind die Grundlagen, auf denen es ruht, so bekannt und jedem so leicht zugänglich, dass die Erwähnung derer, die sich Verdienste darum erworben, fast überflüssig erscheinen könnte. Aber es drängt mich, hier denen meinen Dank auszusprechen, deren Werke gerade mich nach meiner Meinung gefördert haben. Die Physiologie des Gesichtssinnes hat eine physikalische und eine psychologische Seite. Dass ich im Bezug auf erstere Alles Helmholtz verdanke, bedarf für Jeden, der dessen Darstellung der physiologischen Optik gelesen, kaum einer Erwähnung. Und weil dieses Werk zugleich auf die frühern Bearbeiter desselben Gegenstandes so umfassende Rücksicht nimmt, so sei es mir vergönnt, auf dasselbe im Ganzen zu verweisen. Was aber die psychologische Seite des Gebietes betrifft, so muss ich vor Allen Lotze nennen, dessen medizinische Psychologie mir zur anregenden Grundlage eigner Arbeit wurde. Dass neben Lotze auch Fechner den grössten Einfluss auf die Entwicklung der hier dargelegten Gedanken ausgeübt, kann sich weniger zeigen, als es wirklich der Fall ist; in den späteren Heften aber werde ich jede Gelegenheit benützen, um zu zeigen, eine wie grosse Freude es mir ist, mit ihm in Uebereinstimmung zu sein. Volkmann's Verdienste um die Physiologie des Gesichtssinnes sind zu gross und zu anerkannt, als dass es nöthig wäre darzulegen, wie viel ich ihm schulde. Was endlich das Sehen mit beiden Augen betrifft, so ist die bahnbrechende Arbeit Wheatstone's nebst den Arbeiten von Brücke, Panum und Nagel die Grundlage meiner Arbeiten über diesen Gegenstand gewesen. Nur Einen aber gab es, der in dem vorliegenden Hefte nichts weiter finden könnte, als die Anpassung seiner eignen Bearbeitung des Gegenstandes an die jetzt mehr ins Einzelne gehenden Bedürfnisse der Wissenschaft, und dieser Eine ist der unsterbliche Johannes Müller, der in seiner Darstellung der Gesichtssinnslehre der Wissenschaft ein fast vergessnes Erbe hinterliess, das anzutreten ich in diesem und einigen spätern Heften versuchen will.

Durchaus nothwendig ist, dass jeder Leser die angegebnen höchst einfachen Versuche wiederhole, denn die Darstellung ist darauf berechnet, die eigne Beobachtung zu erläutern, nicht aber zu ersetzen.

Leipzig im September 1861.

Ewald Hering.

INHALT.

EINLEITUNG.

Vom Gange der Lichtstrahlen im Auge und vom Maasse des subjectiven Raumes.

§. 1.

Wäre die Hornhautoberfläche der Abschnitt einer Kugelfläche, wie *a c d f* in Fig. 1, einem ohne Rücksicht auf die wirklichen Grös-

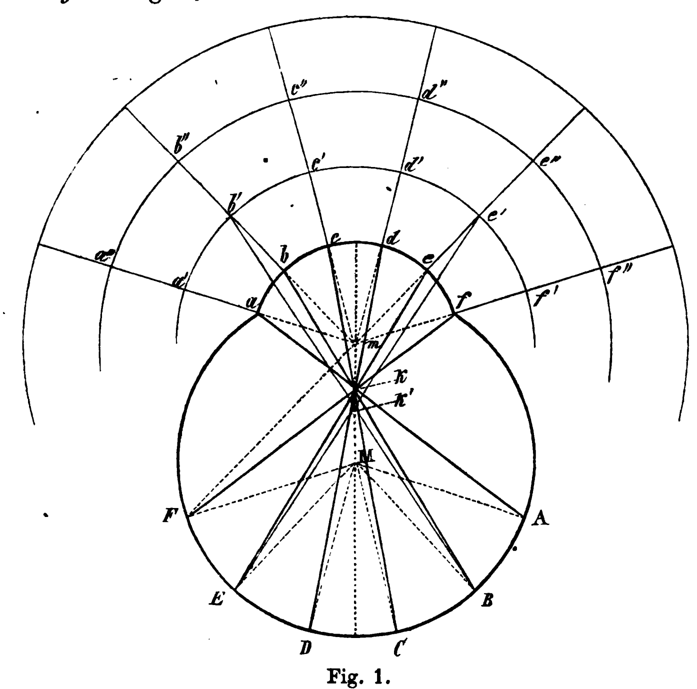


Fig. 1.

senverhältnisse des Auges entworfenem Schema; könnte man ferner auf dieser Kugelfläche ein kleines leuchtendes Gemälde anbringen und wollte davon auf der Netzhaut ein in allen Raumverhältnissen

ähnliches, wenngleich vergrössertes Bild erzeugen, so müsste auch die Netzhautfläche ein Kugelflächenabschnitt sein; denn ein Flächengemälde lässt sich nur auf einer ähnlichen Fläche ähnlich d. h. so abbilden, dass man das Bild durch gleichmässige Vergrösserung oder Verkleinerung des Gemäldes entstanden denken kann. Dazu müssten die von jeder beliebigen Stelle des Hornhautgemäldes, z. B. von *e* ausgehenden Strahlen durch eine im Innern des Auges gelegene Sammellinse so geleitet werden, dass sie sich auf der Netzhaut vereinigten. Es würden sich z. B. die Strahlen von *e* in *E*, die von *b* in *B* vereinigen müssen, denn der Netzhautbogen *E D C B* und der Hornhautbogen *e d c b* müssten zu gleichen Winkeln gehören. Nenne ich die Richtung, welche durch die leuchtende Hornhautstelle *e* einerseits und durch ihr Abbild *E* auf der Netzhaut andrerseits bestimmt ist, eine Lichtrichtung, so müssten sich sämmtliche Lichtrichtungen in *k* kreuzen, welchen Ort ich den Richtungsknoten des Lichtes nennen will. Wie ein auf der Hornhaut selbst befindliches leuchtendes Gemälde, würde sich auch ein vor der Hornhaut liegendes ähnlich auf der Netzhaut abbilden können, falls es einer Kugelfläche angehört, die mit der Hornhaut einen gemeinschaftlichen Mittelpunkt hat, und falls das Auge sich so abändern lässt, dass auch bei dem nun grösseren Abstande der leuchtenden Stellen des Gemäldes sämmtliche sich zugehörige Strahlen auf der Netzhaut vereinigt werden. Läge das Gemälde auf einer zu dem Mittelpunkte *m* der Hornhautkrümmung gehörigen Kugelfläche *a' b' e' f'* von gleichem Halbmesser wie die Netzhaut selbst, so würde eine auf der Fortsetzung des Hornhauthalbmessers *m e* gelegene Gemäldestelle *e'* einen ihrer Strahlen senkrecht auf die Hornhautstelle *e* schicken und es würde dieser Strahl, den ich den Hauptstrahl nennen will, bis *m* weiter gehen, falls er bis dahin einen gleichartigen, übrigens beliebig dichten Stoff zu durchlaufen hätte. Er würde unter solchen Verhältnissen über *m* hinausgehen und die Netzhaut in *F* statt in *E* treffen. Wenn dann auch die übrigen von *e'* kommenden Strahlen sich sämmtlich in *F* vereinigten, so würde zwar die Gemäldestelle *e'* scharf auf der Netzhaut abgebildet, aber das Gesammtgemälde müsste verzerrt auf der Netzhaut wieder erscheinen, da die andern Gemäldestellen sich ebenfalls in ihren Hauptstrahlrichtungen abbilden würden, und dabei die Hornhautbogenwinkel den Netzhautbogenwinkeln nicht mehr gleich sein könn-

ten. Denn sollte dies möglich sein, so müsste der Netzhautmittelpunkt nicht in M, sondern in m liegen. Also auch hier würden wir eine Linse nöthig haben, welche die Strahlen so bräche, dass der Hauptstrahl $e' e$ nach E geleitet würde. Den Weg, den jeder beliebige Hauptstrahl nöthig hätte, würde man sich versinnlichen können, wenn man ihn zuerst bis zur Mitte m der Hornhautkrümmung, hierauf in der Mittelrichtung des Auges bis zur Mitte M der Netzhautkrümmung und endlich wieder von M in gleicher Richtung wie zuvor weiterlaufend dächte. Jeder Lichtstrahl würde also durch die eingeschobene Linse auf der Mittelrichtung gleichsam ein Stück nach hinten verschoben. Kämen nun auch alle übrigen Strahlen von e' in E an, so würde wieder ein scharfes Netzhautbild der Stelle e' und zugleich, falls alle übrigen Hauptstrahlen des Gemäldes sich entsprechend verhielten, ein vollkommen ähnliches, ja in diesem besondern Falle sogar gleichgrosses Bild des Gemäldes erzeugt werden. Aber es ist ersichtlich, dass sich nun die Verbindungsrichtungen zwischen einzelnen Gemäldestellen einerseits und den entsprechenden Netzhautstellen andrerseits nicht mehr in k kreuzen können, vielmehr in dem von m und M gleichweit entfernten Orte k'. Der Lichtrichtungsknoten ist also nach hinten gerückt. Läge hinter der kugligen Gemäldefläche $a' b' e' f'$ eine zweite entsprechend grössere $a'' b'' e'' f''$, so würde z. B. die Stelle e'', welche ebenso wie e' auf einem verlängerten Halbmesser der Hornhautkrümmung liegt, einen Hauptstrahl geben, der mit dem Hauptstrahl von e' der Richtung nach zusammenfiele. Da nun aber die im Auge liegende Linse nicht für die Entfernungen e' und e'' zugleich eingerichtet sein könnte, so würde die Stelle e'' nicht in einem scharfen Bilde, sondern als Zerstreuungskreis auf der Netzhaut erscheinen, innerhalb dessen das scharfe Bild von e' läge. Ich würde also e' und e'' mit derselben Netzhautstelle und daher in einer und derselben Richtung sehen. Hätte ich ferner die Einrichtung meiner Linse so in der Gewalt, dass ich sie abwechselnd für e' und e'' einstellen könnte, so würde mir abwechselnd das eine im Zerstreuungskreise des andern liegend erscheinen. Die Richtung, in der beide wie alle in der Richtung $m\ e''$ noch ferner möglichen Dinge liegen, nenne ich die Hauptstrahlrichtung. Sie ist also die Richtung eines über die Hornhautoberfläche hinaus verlängerten Halbmessers der Hornhaut. Es ist selbstverständlich, dass der Lichtrichtungsknoten um so mehr

nach M hinrückt, je weiter die kuglige Gemäldefläche sich vergrössernd vom Auge abrückt. Rückt die kuglige Gemäldefläche in grosse Ferne, so nähert sich der Lichtrichtungsknoten immer mehr der Mitte M und fällt endlich in sie selbst. Dann sind also die Lichtrichtungen und die Hauptstrahlrichtungen gleich. Für die Nähe aber ist nur der zur Bildstelle gehörige Halbmesser der Netzhautkrümmung, z. B. EM parallel der Hauptstrahlrichtung. Nenne ich die Winkel der Hauptstrahlrichtungen Hauptstrahlwinkel, so sind also diese in dem dargestellten Schema gleich den Winkeln der zu den entsprechenden Netzhautstellen gehörigen Halbmesser, z. B. ist der Hauptstrahlwinkel $d'' m e''$ gleich dem Netzhautbildwinkel EMD, und ich könnte also in solchem Auge unter Sehwinkel beide Winkelarten zugleich verstehen. Wird das Licht im Auge nicht so geleitet, dass jeder Hornhautstelle oder vielmehr jedem durch diese Stelle treffenden Hauptstrahle eine Netzhautstelle unabänderlich entspricht, und dass also stets der Hauptstrahlwinkel gleich dem Netzhautbildwinkel ist, so ist ein dem Kugelgemälde ähnliches Bild und also ein richtiges Sehen des Gemäldes unmöglich.

Zahlreiche Versuche und Rechnungen haben bekanntlich ergeben, dass das menschliche Auge dem im Obigen entworfnen Schema nahekommt. Hornhautoberfläche und Netzhaut zeigen annähernd eine Kugelkrümmung. Man hat gefunden, dass die »Richtungslinien«, welche ich Lichtrichtungen nenne, sich wirklich an einer engumgrenzten Stelle, dem »Kreuzungspunkte der Richtungslinien« d. i. in dem Lichtrichtungsknoten durchkreuzen. Es ist berechnet worden, dass der Weg des »Richtungsstrahls« (gleichsam des Hauptstrahles) hinter der Linse innerhalb gewisser Grenzen eine gleiche Richtung hat wie vor der Hornhaut, und dass der »Kreuzungspunkt der Richtungslinien« oder sogenannte »mittle Knotenpunkt« für nahe Dinge der Hornhaut näher liegt, als für ferne, dass also nicht derselbe »Kreuzungspunkt« für alle Entfernungen zugleich gilt. Bekannt ist, dass die nöthige Aenderung der Linse innerhalb gewisser Grenzen wirklich vor sich geht und dass das Auge abwechselnd für die Nähe und Ferne eingestellt werden kann, wobei, wie bewiesen worden ist, die »Knotenpunkte« sich verrücken und also auch der »mittle Knotenpunkt« oder »Kreuzungspunkt« derjenigen »Richtungslinien«, welche zu Dingen von gleicher Ferne gehören, verschoben wird. — Mit den Hauptstrahlrichtungen dürfen die »Visirlinien« (Helmholtz) darum nicht verwechselt werden, weil der Hauptstrahl und der, die Mitte eines Zerstreuungskreises treffende Strahl nicht identisch sind. Der Zerstreuungskreis liegt excentrisch um den Punkt, welcher vom Hauptstrahle getroffen wird.

§. 2.

Das in §. 1 entworfene Schema des menschlichen Auges lässt sich einer allgemeinen Betrachtung über den Ortsinn der Netzhaut zu Grunde legen, wenn man nie vergisst, dass die Wirklichkeit hinter dem Schema zurückbleibt. Je mehr sie sich ihm aber nähert, desto mehr wird auch jede auf dasselbe gegründete Betrachtung den wirklichen Verhältnissen entsprechen. In diesem ganz allgemeinen Entwurfe werde ich alle aus der Abweichung meines Auges von dem Schema entstehenden Abweichungen grundsätzlich vernachlässigen, was um so mehr erlaubt ist, als gerade für die Stelle der Netzhaut, der für gewöhnlich die Aufmerksamkeit fast ausschliesslich angehört, die wirklichen Verhältnisse denen des Schemas ziemlich genau entsprechen. Ich will nun jede Netzhautstelle, die im Schema einer bestimmten Hornhautstelle und dem darauf gerichteten Hauptstrahle unabänderlich entspricht, als die zu dieser Hornhautstelle und zu dieser Richtung zugehörige Netzhautstelle benennen und umgekehrt die Hornhautstelle und die Hauptstrahlrichtung als zu der Netzhautstelle zugehörig bezeichnen. Da es bekanntlich eine Stelle der Netzhaut giebt, welche schärfer sieht, als alle übrigen, so will ich deren Mitte als Kernfleck der Netzhaut unterscheiden, und weil wir unser Auge stets so stellen, dass die Stelle, welche wir betrachten wollen, auf diesem Flecke sich abbildet, so will ich diese zum Kernfleck zugehörige Raumstelle die Kernstelle des jeweiligen Sehraumes nennen. Ferner will ich statt Netzhautstelle im Folgenden kurz Hautstelle sagen und denjenigen Ort, in welchem ich das auf dieser Hautstelle Abgebildete im Raume sehe, die zugehörige Sehraumstelle oder zugehörige Sehstelle nennen. Ein gesehenes Ding werde ich von dem wirklichen Dinge als Sehding und ebenso den ganzen gesehenen Raum vom entsprechenden wirklichen Raume als Sehraum unterscheiden. Es ist für die Wahrnehmung räumlicher Unterschiede gleichgültig, ob sich eine Stelle im Raume durch ihre Helligkeit oder durch ihre Dunkelheit oder durch ihre Farbe von der Umgebung sondert. Ich will eine so gesonderte sichtbare Stelle eine Merkstelle nennen. Jeder kleinsten Merkstelle des Sehraumes entspricht ein gesondertes und anders als seine Nachbarn erregtes Netzhauttheilchen, und die räumliche Unterscheidung von Merkstel-

len ist daher von der Kleinheit der gesondert erregbaren Netzhauttheilchen abhängig. Jedes Sondertheilchen der Netzhaut vermag mit der Lichtempfindung, die es vermittelt, ein sehr verschieden grosses Stück einer gesehenen Fläche zu füllen. Betrachte ich meine Hand bei einer Entfernung von 8″ mit einem Auge, während das andere geschlossen ist, so sehe ich sie genau ebenso gross, als bei einer Entfernung von 16″, obgleich erstern Falls das Hautbildchen im Auge ungefähr doppelten Durchmesser hat und dieselben Netzhauttheilchen also einen ungefähr vierfach kleineren Flächenraum zu füllen haben. Dieser Versuch beweist zugleich, dass die gesehene Grösse von der Grösse des Hautbildchens in diesem Falle unabhängig ist. Meine Aufmerksamkeit sammelt sich in diesem Versuche bei der Hand, auf welcher die Kernstelle meines Sehraumes liegt, und da mir die Grösse der Hand aus langer Erfahrung bekannt ist, so behält sie in beiden Entfernungen dieselbe Sehgrösse und wird deshalb bei 8″ Entfernung ebensowohl wie bei 16″ oder 24″ der Maassstab des jeweiligen Sehraums, d. i. der Vergrösserung des gesammten Netzhautbildes.

Wenn ich von meinem Arbeitstische aufsehe, steht mir ein Schrank gegenüber, dessen Grösse mir selbstverständlich annähernd bekannt ist. Halte ich nun meine Hand 8″ vor ein Auge, während das andre geschlossen ist, und bewege sie nicht zu schnell, sondern so, dass mein Auge ihr folgen kann, gerade vorwärts bis auf etwa 24″ Entfernung, indem ich meinen Blick fest auf sie hefte, so sehe ich den etwa 8 Ellen von meinen Augen entfernten Schrank deutlich grösser werden; führe ich die Hand in ähnlicher Weise zurück, so schrumpft er wieder zusammen; dabei muss ich aber meine Aufmerksamkeit immer hauptsächlich auf der Hand sammeln und nur ganz leichthin auf den Schrank achten. Denn merke ich zu sehr auf letzteren oder heftet sich gar unwillkührlich der Blick auf ihn, so wird das ganze Verhältniss umgekehrt. Nun wird der mir aus langer Erfahrung fast so gut wie meine Hand bekannte Schrank, da auf ihn die Kernstelle meines Sehraumes zu liegen kommt, zum Maassstabe der Vergrösserung sämmtlicher Netzhautbilder, kurz zum Maassstabe des Sehraumes. Hefte ich den Blick auf den Schrank und fahre mit der Hand womöglich etwas unter der Blickrichtung vor und zurück, so sehe ich die Hand abwechselnd kleiner und grösser werden. War-

um der Versuch beim doppeläugigen Sehen nicht gemacht werden darf, soll später besprochen werden. Diese Versuche zeigen also, was von vornherein zu erwarten steht, dass das gesammte Netzhautbild im Allgemeinen eine gleichmässige Vergrösserung erfährt und dass die Stärke der Vergrösserung im Allgemeinen von derjenigen abhängig ist, die ich nöthig habe, um das eben betrachtete Ding, z. B. die Hand auf ihre mir längst bekannte Grösse zu bringen. So sieht man auch einen Menschen innerhalb gewisser Grenzen der Entfernung gleich gross, und wenn derselbe eine Stange von seiner eignen Länge in der Hand hält, deren Länge mir aber ganz unbekannt ist, so sehe ich dieselbe doch eben so lang wie ihn, und also gleichlang bei 12 und bei 24 Ellen Entfernung von meinem Auge, obwohl ihr zugehöriges Hautbildchen erstern Falls ungefähr doppelt so lang ist, als letztern Falls. Was von einer Netzhaut beim Nahesehn, das gilt von beiden, wenn sie gleichzeitig gleiche Bilder bekommen. Für gewöhnlich achtet man gar nicht auf die Gleichmässigkeit, mit der im Allgemeinen die Einzeltheile des Netzhautbildes vergrössert erscheinen. Jedem Wechsel der Aufmerksamkeit folgt sofort der Blick, und bei diesem unaufhörlichen Umherwandern und bei der grossen Unachtsamkeit gegen alles irgend von der Kernstelle Entfernte ist es erklärlich, dass es zu einer ruhigen Vergleichung der Grössen nicht kommt. Halte ich aber z. B. meinen linken Zeigefinger 8″ entfernt vor ein Auge und den rechten zugleich 24″ entfernt, so dass beide dicht nebeneinander erscheinen, so sehe ich, wenn ich beide mit meiner Aufmerksamkeit umspanne, sehr wohl, wie verschieden gross sie erscheinen und ich gerathe in Verlegenheit, für welche Grösse ich mich als für die richtige entscheiden soll. Sammle ich die Aufmerksamkeit auf den nahen, so finde ich ihn in ganz richtiger Grösse, sammle ich sie auf den fernen und achte dabei nicht auf den andern, so finde ich den fernen ebenfalls richtig gross, mache ich dagegen einen zwischen beiden Fingern gelegenen Ort zur Kernstelle meines Sehraumes so fällt mir sogleich wieder die bedeutende Grössenverschiedenheit auf. Dies zeigt also wenigstens so viel, dass die gegenseitigen Verhältnisse der Einzeltheile des Netzhautbildes beim Sehen nicht wesentlich geändert werden. Meine Ansichten über den Raumsinn überhaupt denke ich in einem späteren Hefte zu geben und muss mich hier, wo ich nur den Ortsinn der

Netzhaut übersichtlich behandeln will, in Betreff der ausführlichen Begründung auf Verweisung beschränken. Ich hoffe dort auch den Einfluss des wandernden Blickes und der wandernden Aufmerksamkeit in ihrem Verhältniss zu einander und in ihrer Beziehung zum Raumsinn näher zu besprechen, während hier nur das Sehen bei ruhendem Blicke besprochen wird.

Wer geübt ist, wird vielleicht auch folgende Beobachtung bestätigt finden. Wenn ich mich vor einen grossen Spiegel so stelle, dass ich ihn eben noch mit der Hand erreichen kann, dann ein Auge bedecke und zwischen das andere und das Spiegelbild meines Gesichts eine Hand bringe, so scheint mir diese Hand, wenn ich sie zwischen Spiegel und Gesicht hin- und herführe, während ich das von der Hand theilweise bedeckte Spiegelbild meines Kopfes betrachte, abwechselnd grösser und kleiner zu werden. Sammle ich aber meine Aufmerksamkeit fast ganz auf der Hand, während ich gleichwohl meinen Kopf im Spiegel nebenher leicht beachte, so scheint mir derselbe, wenn die Hand sich meinem Auge nähert, zwar nicht gerade kleiner zu werden, wohl aber sich entsprechend vom Spiegel zu entfernen; kommt die Hand dagegen zum Spiegel zurück, so kommt auch das Spiegelbild meines Kopfes wieder näher. Diese Beobachtung erfordert jedoch eine grosse Herrschaft über die Aufmerksamkeit, damit sich dieselbe nicht falsch vertheile.

Nach den jetzt vorherrschenden Ansichten ist die Grösse und das Verhältniss der Grössen gesehener Dinge nicht sowohl von den räumlichen Verhältnissen des Netzhautbildes, wie Joh. Müller behauptet, als vielmehr von dem Produkt aus der Sehferne und dem sogenannten Gesichtswinkel abhängig, unter welch letzterem man den von mir als Lichtrichtungswinkel bezeichneten Winkel versteht. Derselbe ist, wie Helmholtz zeigt, nicht mit dem Winkel der »Visirlinien« zu verwechseln, noch mit dem, welchen ich an dem gegebenen Schema als Hauptstrahlwinkel bezeichnete. Nur für grosse Fernen fallen, wie gezeigt, Lichtrichtungen und Hauptstrahlrichtungen zusammen und mithin auch ihre Winkel. Man stellt sich nun das Verhältniss der Seele zum Sichtbaren meist so vor, dass erstere die Fähigkeit besitzen soll, von der gereizten Netzhautstelle eine Linie durch den jeweiligen Richtungsknoten des Lichtes (Kreuzungspunkt der Richtungslinien) hindurch in den leeren Raum hinauszuziehen und in dieser Richtung, auf der allerdings das entsprechende leuchtende Ding liegen muss, es nun auch zu sehen. Der Ort des Dinges ist damit selbstverständlich noch nicht gegeben. Dazu aber, dass die Seele auch nur die blosse Richtung zu finden vermöge, ist erstens nöthig, dass sie die Lage des Lichtrichtungsknotens in jedem Augenblicke genau kenne. Nach Helmholtz rückt derselbe (d. i. der mittle Knotenpunkt des Listing'schen schematischen Auges) beim Nahesehn etwa um 0,2‴ nach vorn, was bei der Feinheit des Ortsinns der Netzhaut und bei einer mathematischen Construktion, wie sie doch hier die Seele zu machen hätte, schon erhebliche Unterschiede giebt. Zwei-

tens ist aber auch nöthig, dass die Seele die genaueste Kenntniss der jeweiligen Stellung des Auges hat, denn der geringste Irrthum in dieser Beziehung würde noch weit grössere Unterschiede ergeben. Ich werde im Folgenden zeigen, dass wir nur in ganz bestimmten Fällen und auch dann nur eine sehr unbestimmte Kenntniss über die jeweilige Stellung unserer Augen haben. Bedenkt man nun, dass man beim Sehen mit einem Auge ganz grobe Täuschungen über die Richtung gesehener Dinge erleidet, so ist ganz unmöglich, denen beizustimmen, welche behaupten, dass das Auffinden des wirklichen Ortes eines doppeläugig gesehenen Dinges das Ergebniss aus den beiden Richtungslinien sein soll, die die Seele für beide Augen zugleich construirt. Denn man behauptet ja doch, die Seele ziehe wirklich diese beiden Linien und versetze nun das Ding an den Ort, wo beide sich durchschneiden. Da sich aber die Linien überhaupt, wenn auch noch nicht am richtigen Ort, nur schneiden können, falls sie schon ganz genau gezogen sind und nicht eine über die andre wegschiesst, so wäre ganz unbegreiflich, wie ein Auge für sich jene groben Irrthümer begehen, das Ergebniss aber aus den Konstruktionen beider so sicher sein könnte. Bedenkt man endlich, dass diese ganze Konstruktion das Werk eines Augenblicks sein und für viele Raumstellen gleichzeitig hergestellt werden soll, so kann man sich unmöglich einverstanden erklären. Die psychologische Bedenklichkeit solcher Annahme gedenke ich später zu besprechen. Weder Nervenmechanik noch auf bewusste Empfindungen gegründete Construktion kann das leisten, was die Theorie der Projektionslinien fordert. Diese Projektionstheorie, wie ich sie kurz nennen will, ist neuerdings wieder von Nagel (Das Sehen mit zwei Augen. Leipzig und Heidelberg 1861) und philosophisch von Schleiden (Zur Theorie des Erkennens durch den Gesichtssinn. Leipzig 1861) bearbeitet und verfochten worden. Beide gelangen folgerichtig zur Verwerfung der Müller'schen Lehre von der Identität der Netzhautstellen. Schleiden auf Grundlage seiner Ansichten über »die, wenn auch unbewusste, doch willkührliche Thätigkeit der mathematischen Konstruktion«, welche er der Seele zuschreibt, Nagel auf Grundlage der von Wheatstone begonnenen stereoskopischen Versuche. Ich halte beide Grundlagen für gut gewählt, wenn es zu beweisen gilt, dass die Identitätstheorie mit der Projektionstheorie unvereinbar ist. Aber diese Unvereinbarkeit beweist nur, dass entweder die eine Lehre oder die andre oder jede von beiden falsch ist.

Was nun die Behauptung betrifft, dass die gesehene Grösse der Dinge von dem sogenannten Gesichts- oder Richtungslinienwinkel (d. i. dem Lichtrichtungswinkel) direkt abhängig sei und demnach in jedem Falle aus diesem Winkel einerseits und der Entfernung, in der man das Ding sieht, andrerseits abgeleitet werden könne, so widersprechen diesem Satze die oben angeführten Versuche. Da sie jedoch nur von Geübten ergiebig und überzeugend ausgeführt werden können, will ich folgenden einfachen Versuch angeben. Man halte einen Finger nahe vor das rechte Auge, so dass man ihn mit dem linken eben noch über den Nasenrücken hinweg sehen kann, und betrachte ihn dann mit beiden Au-

gen. Weil die Augenstellung dabei sehr schief sein muss, so entsteht anfangs leicht ein Doppelbild. Man sieht sofort, dass das eine Trugbild viel grösser ist als das andre, und zwar ist das dem linken Auge zugehörige das kleinere, weil wegen der grösseren Entfernung dieses Auges das linke Netzhautbild kleiner sein muss, als das rechte. Gelingt es endlich, beide Bilder übereinander zu bringen, so sieht man das kleinere Bild im grösseren liegen und kann es so weit treiben, dass das letztere doppelt so gross ist als das erstere. Nach der Projectionstheorie müssten beide Fingerbilder gleich gross erscheinen und der Finger einfach gesehen werden, weil das allerdings kleinere d. i. unter kleinerem »Gesichtswinkel« liegende linke Netzhautbild fast doppelt weit hinausgetragen werden muss, ehe es an die Stelle gelangt, wo nun der Finger erscheint. Denn die Gesichtswinkelgrösse steht im umgekehrten Verhältniss zur Entfernung des Dinges und das Produkt aus beiden muss stets gleich sein. Nimmt man aber an, dass beide Netzhautbilder im Ganzen und Allgemeinen nach einem innerhalb gewisser Grenzen beliebigen Maassstabe vergrössert werden und zwar eines stets ebenso stark wie das andre, so ist das Ergebniss des beschriebenen Versuches selbstverständlich. Ich wiederhole, dass ich diese gleichmässige und beiden Augen gemeinschaftliche Vergrösserung des Netzhautbildes hier nur im Allgemeinen und Ganzen fordere, während bei der stereoskopischen Ausarbeitung der Einzeltheile zahlreiche besondere Verhältnisse zu bedenken sind, die ich am angegebenen Orte ausführlich besprechen will. Nur einem naheliegenden Einwurfe sei gleich hier begegnet. Bei dem Versuche mit dem Schranke und der vor ihm hin- und hergeführten Hand blieb das Bild des Schrankes auf der Netzhaut unveränderlich dasselbe, sein Lichtrichtungs- oder »Gesichtswinkel« also auch unverändert. Gleichwohl wurde der Schrank das eine mal grösser, das andre mal kleiner und in ungeänderter Entfernung gesehen. Der Hauptstrahl- oder Netzhautwinkel kommt dadurch scheinbar aus aller Beziehung zu dem Sehrichtungswinkel, wenn ich so den Winkel nennen will, den z. B. zwei Linien mit einander machen, die ich mir von meinem Auge aus nach der linken und rechten obern Ecke des Schrankes gezogen denken kann. Halte ich die Hand ferner, so erscheint der Schrank grösser, also scheinbar unter grösserem Sehrichtungs- oder kurz Sehwinkel, und die Hauptstrahlwinkel sind gleichwohl ungeändert. Während die sämmtlichen Hauptstrahlrichtungen immer in denselben Winkelverhältnissen zu einander bleiben, divergiren scheinbar die Sehrichtungen verschieden, stärker, wenn die Hand weit, schwächer, wenn sie nahe dem Auge liegt. In Wirklichkeit aber bleiben Sehwinkel und Hauptstrahlwinkel sich unverändert gleich. Wenn die Hand sich nähert, ändert sie für meine Anschauung ihr Grössenverhältniss zum Schranke, und ich kann diese Aenderung ebensowohl als eine Vergrösserung der Hand, wie als eine Verkleinerung des Schrankes sehen. Je nachdem meine Aufmerksamkeit bei diesem oder jener ist, geschieht das erstere oder das letztere. Will man sich das Verhältniss veranschaulichen, so denke man sich, dass wenn die Hand nahe vor dem Auge steht, und

gleichwohl noch ebenso gross gesehen wird, als zuvor bei grössrer Ferne, der ganze Maassstab, nach welchem wir unsern subjektiven Raum messen, ein andrer geworden ist, dass wir gleichsam das Netzhautbild mit einem kleineren Faktor multipliciren, und dass deshalb auch wir selbst sammt unsrer Netzhaut, wenn wir uns sehen könnten, uns kleiner erscheinen müssten, wie diess denn auch im Spiegel wirklich der Fall ist. Wenn wir aber unser Spiegelbild nicht sowohl kleiner werdend, als zurückweichend sehen, so heisst das ganz dasselbe nur auf die wahrscheinlichere Weise erreicht, als wenn unser Bild wirklich wie der Schrank zusammenschrumpfte. Der Maassstab, nachdem wir den Sehraum messen, sind doch zunächst wir selbst oder ein bestimmter Theil unsers Leibes. Bildet sich unsre Hand das eine Mal auf einem kleineren Netzhautstücke ab, als das andre Mal, so ist uns das eine Mal das kleinere Stück dem grössern räumlich gleichwerthig und der übrige Theil des Netzhautbildes hat sich darnach zu richten. Immer aber kann es sich hierbei nur um Grössenänderungen, nicht um Winkeländerungen handeln. Die Grössen ändern sich, aber ihre Verhältnisse untereinander bleiben dieselben.

Noch sei hier bemerkt, dass ich streng zwischen einfacher und gleicher (paralleler) Richtung unterscheide. Eine »Dimension« des Raumes, z. B. die der Tiefe, besteht aus der Gesammtheit aller der parallelen Linien, die sich nach dieser Dimension gezogen denken lassen: diese Linien haben alle gleiche d. i. parallele Richtung, aber jede Linie für sich bildet eine besondere einfache Richtung. Wenn ich sage, es liegt etwas für mich in östlicher Richtung, so verstehe ich demnach unter Richtung die einfache Linie, welche ich von meinem Standpunkte aus nach Osten gezogen denken kann, nicht aber zugleich alle möglichen, dieser Linie parallelen Linien. Ich beziehe also jede einfache Richtung auf zwei Punkte, nicht auf zwei parallele Flächen.

Von der Identität der Netzhautstellen.

§. 3.

Lasse ich beide Augen auf dem Sternhimmel ruhn, so sehe ich alle Gestirne einfach. Wenn ich einen Stern fest im Auge behalte und meinen Kopf dabei etwas links, rechts, rückwärts oder vorwärts wende, und also meine Augenstellung ändere, so wird keiner der näheren oder ferneren Nachbarsterne verdoppelt. Wähle ich mir ein Sternbild, welches helle Sterne enthält, merke mir deren Zahl und Lage und hefte meinen Blick wechselnd auf nähere oder fernere Nachbarsterne, während ich meine Aufmerksamkeit dem Sternbilde zuwende, so entsteht ebenfalls kein doppeltes Bild. Ich wiederhole die Beobachtung am Vollmonde; je ferner er dem Sterne ist, auf welchem mein Blick ruht, desto mehr zerfliesst sein Bild, nie wird es doppelt.

Suche ich auf meiner Doppelnetzhaut die Doppelstellen, deren gleiche Reizung einfach gesehen wird, d. h. also sogenannte identische Stellen, so dient mir der in beiden Augen gleiche Bilder gebende Sternhimmel besser, als künstliche Lichtscheine, wie solche durch Druck auf das Doppelauge erzeugt werden können und vielfach zur Aufsuchung identischer Stellen benutzt worden sind. — Da die Seitentheile des Sehraumes undeutlich sind, so könnte man meinen, dortige Doppelbilder würden nicht wahrgenommen. Doch leicht vermag ich genügend helle Gestirne auch im seitlichen Sehraume durch Schielen zu verdoppeln. Wo auch mein Blick den Himmel berührt: mir erscheint der Mond stets einfach und läge er noch so seitlich im Sehraume. Je seitlicher er aber liegt, desto stärker muss ich schielen, um ihn zu verdoppeln d. h. um einen deutlich dunklen Raum zwischen die beiden Mondbilder zu bringen.

§. 4.

Verdecke ich, während mein Blick auf dem Himmel ruht, ein Auge, so verschwinden mir gewisse Theile des Sternenheeres. In der

Lage des übrigen bemerke ich keine Aenderung. Beim Verdecken des linken Auges verschwinden andere Gestirne als beim Verdecken des rechten. Also kann ich beim doppeläugigen Sehen gewisse Gestirne nur einäugig gesehen haben.

Durch Bedecken eines Auges wird erstens dem doppeläugigen Sehraume durch die Nase ein seitliches Stück abgeschnitten, zweitens die theilweise Blindheit des einen Auges nicht mehr durch das andere ausgeglichen. Jedes Auge hat ausser dem MARIOTTE'schen Flecke wahrscheinlich noch andre kleinere blinde Stellen, wie sie AUBERT und FÖRSTER in ihren Augen versuchsweise fanden (HELMHOLTZ, physiol. Opt. 221—22).

§. 5.

Aus dem Beobachteten folgt, dass die Wahrnehmung der Himmelsferne einem Auge so gut zukommt als beiden; dass ich am Himmel unten und oben, links und rechts in allen wesentlichen Verhältnissen mit einem Auge ebenso unterscheide, als mit beiden; endlich, dass die blinden Stellen eines Auges seinen Sehraum nicht verkleinern.

Es ergiebt sich also überhaupt, dass für die Himmelsferne das ruhende Doppelauge in der räumlichen Wahrnehmung nicht wesentlich mehr leistet, als das Einauge. — Da die blinden Flecke beim einäugigen Sehen nur die Wahrnehmung gewisser Gestirne hindern, dagegen die in der Umgebung eines blinden Fleckes abgebildeten Gestirne meinem Einauge denselben Abstand unter einander zeigen, als meinem Doppelauge, so muss die Wahrnehmung der einzelnen Abstände der Sterne unter sich in den Raumverhältnissen nicht in den Mengeverhältnissen der durch Licht erregbaren Sondertheilchen des Einauges begründet sein. Es folgt, dass die gegenseitige Entfernung der Gestirne im Sehraume des Einauges abhängig ist von der gegenseitigen Entfernung der gesondert erregten, nicht von der Zahl der zwischenliegenden ruhenden. VOLKMANN (Sehen in WAGNER's Hdwrtrbch. 336) sagt: »Die Haut schätzt die Grösse der Objecte so, dass sie die Grösse der letzten ihr wahrnehmbaren Distanz als Maasseinheit wahrnimmt.« Nun beträgt die kleinste Zirkelspitzenentfernung, welche nach E. H. WEBER (Tastsinn und Gemeingef. in WAGNER's Handwörterbuch. 539) zur Wahrnehmung eines räumlichen Unterschiedes (oder wenigstens einer Richtung) nöthig ist, auf der Zungenspitze etwa ½ Par. Linie, auf dem Rücken günstigsten Falles 24 Par. Linien, so dass also nach VOLKMANN's Ansicht 48‴ der Rückenhaut und 1‴ der Zungenspitze für die räumliche Wahrnehmung gleichwerthig wären. Daraus würde VOLKMANN folgern müssen, dass uns eine Zirkelspitzenentfernung von einer Elle auf der Rückenhaut ebenso gross erscheinen müsste, als eine Zirkelspitzenentfernung von ½ Zoll auf der Zungenspitzenhaut. Dies ist nicht der Fall. VOLKMANN hatte jene Ansicht auch auf die Netzhaut ausgedehnt

(a. a. O. S. 338) und suchte sie durch die richtige Beobachtung zu stützen, dass ein begrenzter Strich gekürzt wird, wenn sich ein Endstück auf dem MARIOTTE'schen Flecke abbildet. Hierdurch wird allerdings das Endstück unsichtbar, und der Strich entsprechend kürzer; doch erleidet dabei, wie VOLKMANN später selbst gezeigt hat, der übrige Sehraum keine Verkleinerung. Lasse ich mein linkes Auge auf dem Flecke *a* Fig. 2 ruhen und bringe dann das Papier in eine solche Lage,

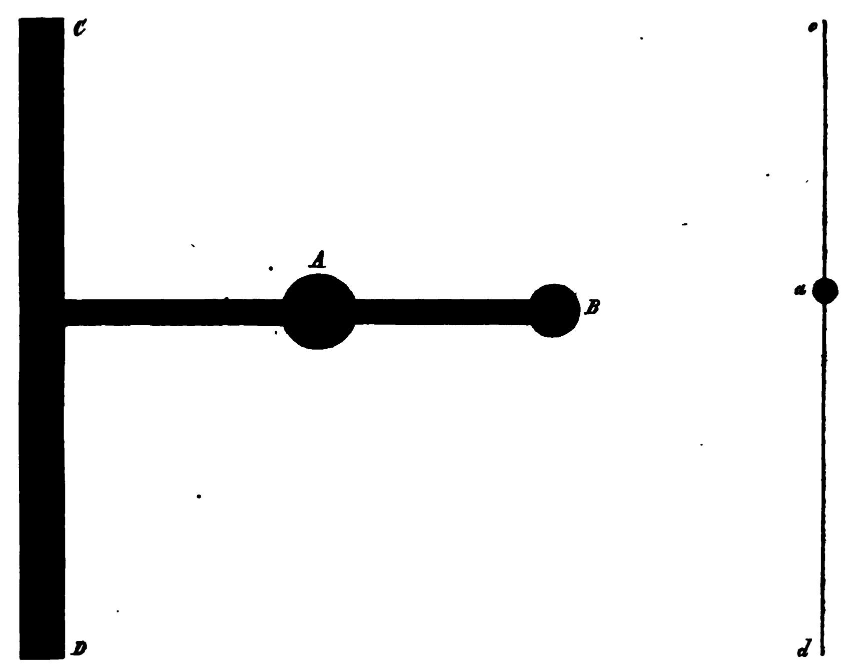


Fig. 2.

dass der Fleck *A* auf dem MARIOTTE'schen Flecke unsichtbar ist, so ändert sich mir die Entfernung zwischen dem Flecke *B* und dem Striche *DC* nicht, wenn ich mir durch Wandern meines Blickes in der Richtung nach *c* oder *d* den Fleck *A* wieder sichtbar mache. Die stellenweise Blindheit in einem Auge bedingt also nur stellenweisen Mangel der räumlichen Wahrnehmung, nicht eine Verkleinerung des Sehraumes. Es ist demnach für die Wahrnehmung der Entfernung zweier Sterne gleichgültig, ob zwischen ihren beiden Netzhautbildchen erregbare Netzhauttheilchen liegen oder nicht.

§. 6.

Die Beobachtungen am Sternhimmel stimmen vollkommen zu dem §. 1 gegebenen Schema. Es zeigt sich, dass jedes Sondertheilchen der

Netzhaut seine Erregung an dem entsprechenden Orte sehen lässt, unbekümmert, ob seine Nachbarn erregt oder nicht, oder überhaupt erregbar sind, denn sonst könnte nicht die Lage der Gestirne unter sich bei verschiedenen Blickrichtungen dieselbe bleiben; es zeigt sich ferner, dass wir sehr geneigt sind, die Gestirne auf einer Fläche zu sehn, welche nichts weiter ist, als eine Vergrösserung der kugligen Gemäldefläche des Schemas. Da die Gestirne über alle Anschauung hinaus fern sind, kann man sie sich ebenfalls auf einer wirklich kugligen Fläche als leuchtende Stellen angeordnet denken, wobei sie dann in demselben verlängerten Hornhauthalbmesser liegen müssten, der die wirklichen Gestirne treffen würde. Es ist klar, dass der Lichtrichtungsknoten für die Gestirne in den Mittelpunkt der Netzhautkrümmung fallen muss, da der Unterschied zwischen Hornhaut- und Netzhautmittelpunkt für grosse Fernen unwesentlich ist. Hauptstrahlwinkel und Lichtrichtungswinkel sind also hier gleich gross. Jedem Bogen des Himmelsgewölbes entspricht ein zu demselben Winkel gehöriger Bogen auf der Netzhaut. Die Sterne erscheinen, da sie über jede der Anschauung erreichbare Ferne hinausliegen, von selbst in einer der Hornhautfläche ähnlich gekrümmten Fläche, sofern man nicht willkührlich einzelne helle Sterne heranzuziehen sucht oder sonst seine Einbildungskraft wirken lässt. Nehme ich an, beide Augen seien vollkommen gleich gebaut, so müssen beide vollkommen gleiche Bilder des Sternhimmels geben, denn der Abstand beider Augen von einander kommt gegenüber solchen Entfernungen nicht in Betracht. Denke ich mir die Augen sammt ihren Bildern des Sternhimmels so übereinander gelegt, dass überall je zwei zugehörige Bilder eines Sterns sich decken, so kann ich auch jede sonstige Stelle der einen Netzhaut als die zur entsprechenden Stelle der andern **zugehörige Deckstelle** auffassen. Um aber jede Deckstelle passend bezeichnen zu können, denke ich mir meine Augen, wenn ihr Blick wagerecht gerade aus in die Ferne gerichtet ist, durch einen wagerechten und einen lothrechten Schnitt, welche beide im Kernflecke kreuzen, geviertheilt. Diese Schnitte nenne ich den **mittlen Quer-** und den **mittlen Längsschnitt**. Die Ebenen, in denen sie liegen und die ich mir durch den äusseren Raum fortgesetzt denken kann, nenne ich **mittle Längsebenen** und **mittle Querebene**. Die letztere haben beide Augen gemeinschaftlich. Dreht sich die mittle Längs-

ebene um eine durch den Netzhautmittelpunkt gehende lothrechte Axe, so schneidet sie die Netzhaut in immer andern Richtungen, welche Schnitte die Längsnebenschnitte heissen sollen. Dreht sich die mittle Querebene um die Verbindungsrichtung beider Netzhautmittelpunkte, so entstehen auf gleiche Weise die queren Nebenschnitte. Man kann nun den Bogen, der zwischen einem beliebigen Nebenschnitte und dem entsprechenden Mittelschnitte liegt, nach Graden bestimmen, indem man den Mittelschnitt mit 0 bezeichnet. Unterscheidet man nun noch die rechten Nebenschnitte von den linken und die obern von den untern, so kann man jede beliebige Netzhautstelle genau bezeichnen, wenn man angiebt, auf welchem linken oder rechten und zugleich obern oder untern Nebenschnitte sie liegt. Jedem Nebenschnitte entspricht eine durch den Mittelpunkt der Netzhaut in den äussern Raum fortgesetzte Quer- oder Längsebene. Ein Längsnebenschnitt des einen Auges und der entsprechende des andern Auges haben beim Fernsehn gleichgerichtete, beim Nahesehn sich durchkreuzende Schnittebenen, zwei sich entsprechende quere Nebenschnitte aber haben bei der beschriebenen Augenstellung eine gemeinschaftliche Schnittebene des äussern Raumes.

Diese Bezeichnungsweise der Deckstellen lässt sich sehr gut brauchen, wenn man davon absieht, dass die ungezwungene mittle Blickrichtung, z. B. bei absichtslosem Vorsichhinsehen, nicht wagerecht läuft, sondern mehr oder weniger nach unten (vergl. §. 22 über Meissner's Horopter). Wie sich zeigen wird, ist dies für die Bestimmung der Netzhautstellen selbst ganz unwesentlich, wohl aber wichtig für ihre Beziehung zu den zugehörigen Stellen im Raume. Ich habe es aber aus später zu erörternden Gründen vorgezogen, anzunehmen, die Augen seien, wenn sie wagerecht gradaus in die Ferne sehen, in ihrer ungezwungensten Fernstellung. Es darf übrigens die angegebene Art der Netzhauttheilung durch grösste Kreise nicht verwechselt werden mit der üblichen Eintheilung der Erdoberfläche durch Meridiane und Parallelkreise. Eine ähnliche Eintheilung ist auch für die Netzhaut angewandt worden, allein sie hat grosse Uebelstände, weil sich horizontale Parallelen der Aussenwelt nicht auf Parallelkreisen, sondern so zu sagen, auf queren Meridianen d. h. auf Querschnitten abbilden. Denn die äussere Linie, der Lichtrichtungsknoten und das Netzhautbild der Linie müssen sämmtlich in einer Ebene liegen. —

Man darf sich wie bekannt die Aehnlichkeit zwischen beiden Augen nicht zu gross denken. Denn in Folge unserer symmetrischen Gestalt sind die Augen in den meisten Beziehungen vielmehr Gegenstücke als Deckstücke. Dies zeigt sich auch im Baue der lichtbrechenden Medien und der Netzhaut. Absichtlich werde ich alle daraus folgende Abwei-

chungen vernachlässigen, werde im Allgemeinen die Ruhstellung des Auges als einem fernen und in der Höhe der Augen über dem Horizonte befindlichen Dinge zugehörig ansehen und grundsätzlich die Augenaxe und die »Gesichtslinie« (HELMHOLTZ) zusammenwerfen, welche letztere ich übrigens die Blickrichtung des betreffenden Auges nennen werde.

§. 7.

Da, wie das §. 1 gegebene Schema zeigt, in einem so vollkommnen Auge eine Stelle der Hornhautfläche nebst der ihr zugehörigen Hauptstrahlrichtung mit einer Stelle der Netzhautfläche unabänderlich durch den Weg eines Hauptstrahles verknüpft wäre, da ferner jeder beliebigen Hauptstrahlrichtung meines einen Auges eine gleichlaufende im andern entspräche, so würde ich bei paralleler Blickrichtung beider Augen Alles doppelt sehen müssen, falls jedes Auge für sich seine Netzhautbildchen in ihren zugehörigen Hauptstrahlrichtungen nach aussen setzte; jede Merkstelle würde mir also zwei in parallelen Richtungen erscheinende Bilder geben, und zwar müssten diese beiden Trugbilder ebensoweit von einander abstehen als meine beiden Augen. Keines der Trugbilder würde am richtigen Orte, sondern das zugehörige Ding würde in der Mitte zwischen beiden liegen. Für die Sterne z. B. ist allerdings der Winkel zwischen den beiden Hauptstrahlrichtungen, unter denen ihr Licht auf der Hornhaut ankommt, verschwindend klein, und wir dürfen getrost sagen, dass die Hauptstrahlrichtung eines Sternes für das linke Auge der entsprechenden Richtung für das rechte Auge gleich, d. h. parallel ist; da nun der wirkliche Himmels- oder Weltraum unvergleichlich grösser ist, als selbst der grösstmögliche Sehraum, so müssten die beiden Richtungen, in denen uns die Trugbilder eines Sternes erscheinen würden, innerhalb des Sehraums stets parallel bleiben; denn sollten sie sich schneiden und demgemäss beide Trugbilder in der Schnittstelle zu einem Einbilde vereinigt werden, so müsste der entsprechende Stern so entfernt gesehen werden, wie er (oder vielmehr sein Mittelpunkt) wirklich ist, d. h. der Sehraum müsste den wirklichen Weltraum decken, was ja nicht im Entferntesten der Fall ist. Kurzum, die Hauptstrahlrichtungen eines Sternes können für beide Augen parallel angenommen werden, weil der Stern unendlich fern ist; die beiderseitigen Sehrichtungen aber müssten, falls sie wirklich mit den Hauptstrahlrichtungen identisch wären, ebenso parallel sein: die

Hauptstrahlrichtungen schneiden sich im Mittelpunkte des Sternes; die identischen Sehrichtungen aber könnten sich nicht schneiden, weil der Sehraum unendlich viel kleiner ist, als der Weltraum. Die beiden Trugbilder eines Sternes könnten wir demnach nie verschmelzen, weil selbst in der grösstmöglichen Sehferne jedes seine besondere Richtung beibehalten würde und man selbstverständlich zwei Bilder, die man in zwei besondern wenn auch parallelen Richtungen zugleich sieht, nicht einfach sehen kann. Allein wir beziehen die Richtungen beim Sehen überhaupt nicht auf unsere Augen, wie viel weniger auf jedes Auge besonders, vielmehr beziehen wir die Richtung und den Abstand der Sehdinge auf unser Gesicht und zwar auf die zwischen beiden Augen gelegene Nasenwurzel. Dies ist selbstverständlich das einfachste und auch nothwendig, denn die Beziehung eines gesehenen Tiefenabstandes auf zwei Punkte zugleich müsste doch noch weiter zu einem Mittelergebniss vereinfacht werden, um irgendwie brauchbar zu sein. Daraus folgt nun, dass wir überhaupt die Dinge nicht von den Augen aus, sondern von der Nasenwurzel aus sehen und alle Richtungen von da ausgehend denken, was im Folgenden ausführlich bewiesen werden wird. Nur so wird es möglich mit zwei Augen in einfacher Richtung und in Folge dessen auch einfach zu sehen. Und es ist Thatsache, dass wir einen betrachteten Stern einfach, also auch von uns aus in einer einfachen Richtung sehn. Denn, sähen wir ihn in zwei Richtungen zugleich, so sähen wir ihn eben doppelt wie beim Schielen.

§. 8.

Gründen sich, wie ich gesagt habe, die gesehenen Abstände der Sterne unter sich auf die gegenseitigen Entfernungen ihrer Netzhautbildchen, so muss der Himmel für mein Auge, falls dasselbe hoch genug gerichtet ist, um nicht mehr durch Dinge auf der Erde beeinflusst zu werden, ähnlich gestaltet sein wie die Netzhaut; ein Bild der letztern kann nur auf einer Kugelfläche so gesehen werden, dass seine räumlichen Verhältnisse sich nicht ändern. Das Himmelsgewölbe ist im günstigen Falle die einfachste durch nichts und insbesondere durch keinerlei anschauliche Erfahrungen beeinflusste Auslegung oder Vorstellung des Gesammtbildes der Netzhaut. Habe ich oben gezeigt, dass in dem Augenschema nur kugligflache Gemälde ohne Verzerrung auf

der Netzhaut abgebildet werden können, wie z. B. die Erdoberfläche sich nur auf einem Globus und nicht auf einer Landkarte abbilden lässt, so zeigt sich nun auch, dass die Netzhaut bei einer durch keinerlei anschauliche Erfahrungen beeinflussten Auslegung ihrer Erregungen die Kugelfläche wirklich wählt.

Ich hebe hervor, dass wir über die Gestirne keine Erfahrungen haben, die, anschaulich für die Erinnerung, beim Wiedersehn der Gestirne die Auslegung des Netzhautbildes beeinflussen könnten, wie dies bei Dingen, die wir aus häufiger Anschauung kennen, allerdings der Fall ist. Denn die Erinnerung an frühere Anschauungen wird durch Aehnliches nicht nur geweckt, sondern erdrückt oft sogar Einzelheiten des Neuen, indem sie dieselbe gleichsam unter ein erworbnes Schema bringt, so oft es irgend angeht. — Was die scheinbare Gestalt des Himmels betrifft, so erscheint er am Tage, und wenn man die Erdoberfläche mit sieht, nicht als Kugelfläche, sondern von oben nach unten platt gedrückt. Hinter einer Wand aber, die nur so hoch zu sein braucht, dass sie Alles Irdische verdeckt, steigt mir der Himmel stets senkrecht aus der Erde empor und bei völlig klarer Nacht erscheint er mir durchaus als Kugelfläche, sobald es so finster ist, dass die irdischen Dinge nur in ihren Umrissen am Himmel, nicht aber körperlich in die Tiefe gesehen werden.

§. 9.

Beim Sehen der Gestirne kann also mein Auge unter günstigen Verhältnissen sein Netzhautbild so auslegen, dass jede Reizung eines Sondertheilchens in einer ihm zugehörigen Sehrichtung gesehen werden kann, ohne dass das entsprechende Gestirn dabei in irgendwie andern räumlichen Verhältnissen zu den übrigen erschiene, als sein Bildchen auf der Netzhaut zu den übrigen Bildchen. So werden also alle Bildchen in der ungezwungensten Richtung, alle gleichweit von mir entfernt und alle in ungeänderten Abstandsverhältnissen gesehen, und da sie sich beim Sehen mit zwei Augen nicht verdoppeln, so folgt daraus, dass beide Augen zusammen so sehen wie eines, das zwischen beiden in der Gegend der Nasenwurzel läge, dessen gerade Blickrichtung also ebensowohl der linksäugigen als der rechtsäugigen geraden Blickrichtung entspräche und das gleichsam zwei übereinander gelegte Netzhäute hätte, so dass jedes gereizte Sondertheilchen der einen Netzhaut ein eben solches der andern deckte; freilich mit Ausnahme der blinden Stellen, die man als Lücken in der Mosaik der Sondertheilchen ansehen müsste, die jedoch, da eine Netzhaut die Lücken der andern ausfüllen würde, nicht

störend werden könnten. Es ergiebt sich, dass Deckstellen meines Doppelauges die Eigenthümlichkeit haben, ihre gleichzeitige Erregung nicht blos in gleicher d. i. in paralleler, sondern in ein und derselben Richtung im Sehraume zur Anschauung zu bringen; und weil beim Sehen des Himmels beide Augen gleiche Veranlassung haben, ihr Hautbild in grosse Ferne hinaus zu verlegen, so ist begreiflich, dass beide das Bild eines Sternes nicht blos in derselben Richtung, sondern auch an ein und demselben Orte erscheinen lassen. Ich will im Folgenden die auf die Gegend der Nasenwurzel bezogene Richtung, in der ich ein Ding sehe, seine zugehörige Sehrichtung nennen. Jede Sehrichtung entspricht also beim Sehen des Himmels einem gleichgerichteten Hauptstrahle des linken sowohl als des rechten Auges und liegt parallel zwischen beiden. Und weil im gegebenen Schema das Endstück des Hauptstrahles ebenso mit einem Halbmesser der Netzhaut zusammenfällt, wie sein Anfangstheil mit einem Hornhauthalbmesser, so sind also stets der Hauptstrahlwinkel der zugehörige Netzhautwinkel und der zugehörige Sehwinkel einander gleich.

§. 10.

Betrachte ich eine gerade vor mir, d. h. in der nach vorn fortgesetzt gedachten mittlen Durchschnittsebene meines Körpers gelegene Merkstelle, so stehen meine Augen so, dass das Bild der Merkstelle auf die Mitte der Netzhautgrube, d. i. den Kernfleck, zu liegen kommt. Sei nun zuerst die Merkstelle sehr fern, so sehe ich sie also vor mir in der geraden mittlen Sehrichtung, welche ich mir von meiner Nasenwurzel aus in horizontaler Richtung zur Merkstelle gehend denken kann. Schliesse ich ein Auge, so ändert sich weder die Richtung noch der Ort, in der ich die Merkstelle sehe. Die einäugige Sehrichtung bleibt also dieselbe, wie die doppeläugige. Wiederhole ich nun genau dasselbe bei Betrachtung einer nur wenige Zolle vor meiner Nasenwurzel gelegenen Merkstelle, so bleibt der Sehort derselben ebenfalls ungeändert, sofern ich beim Schluss des einen Auges das andre nicht verrücke. Die Sehrichtung der Merkstelle ist also beim linksäugigen, beim rechtsäugigen und beim doppeläugigen Sehen dieselbe, obwohl die Hauptstrahlrichtung der Merkstelle für das Linksauge eine andere als für das Rechtsauge und für das Dop-

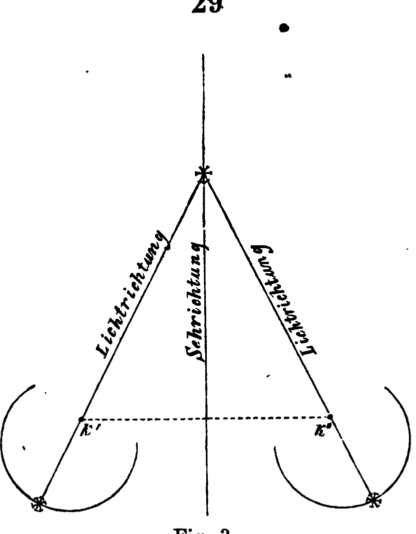


Fig. 3.

pelauge gar eine doppelte ist. Setze ich z. B. die Entfernung von einem Hornhautmittelpunkte zum andern gleich drei Zoll und die Entfernung einer kleinen vor der Nasenwurzel liegenden Merkstelle von jenen Punkten eben so gross, so liegen alle drei, d. i. die beiden Mittelpunkte der Hornhäute und die Merkstelle an den Spitzen eines gleichseitigen Dreiecks und es macht mithin die linksäugige Hauptstrahl- oder Blick- oder, was hier gleichwerthig ist, Lichtrichtung, mit der rechtsäugigen einen Winkel von 60°. Die Sehrichtung aber theilt diesen Winkel in gleiche Hälften, denn ich sehe die Merkstelle gerade vor mir, also in einer auf der Verbindungsrichtung beider Hornhautmittelpunkte k'' und k' Fig. 3 senkrechten Richtung.

Wenn meine Augen gerade aus und in wagerechter Richtung ein sehr fernes Ding betrachten, sage ich, sie haben die mittle gerade Fernstellung; wenn sie in der nehmlichen Richtung ein nahes Ding betrachten, so haben sie für mich eine mittle gerade Nahstellung. Je nachdem das betrachtete Ding nicht gradaus, sondern nach links oder rechts in einer Richtung liegt, welche die Verbindungsrichtung beider Hornhautmittelpunkte schief durchschneidet, giebt es eine linke oder rechte schiefe Fern- oder Nahstellung, und je nachdem das betrachtete Ding sich unter oder über der wagerechten, in der Höhe meiner Augen liegenden Ebene befindet, giebt es eine tiefe oder hohe Fern- oder Nahstellung.

Die wagerechte gerade Fernstellung entspricht in meinem Auge, wie erwähnt, nicht ganz der Ebene, in welcher für gewöhnlich beim Ausruhen des Auges und beim absichtslosen Vorwärtsblicken die Blickrichtungen meiner Augen liegen. Letztere Ebene ist vielmehr etwas gegen die wagerechte geneigt. Ich nenne sie die quere Mittelebene des Sehraumes und nehme im Folgenden an, sie falle mit der wagerechten zusammen. Ebenso will ich die Sehrichtung der horizontal gradaus gerichteten Augen und die der Ruhstellung der Augen entsprechende mittle gerade Sehrichtung als identisch ansehen.

§. 11.

Bin ich mir nicht einer schiefen, hohen oder tiefen Stellung meiner Augen besonders bewusst, so sehe ich ein doppeltes Bild auf meinem doppelten Kernflecke einfach und gerade vor mir in der ungefähren Höhe meiner Augen und in der auf der Mitte der Verbindungsrichtung beider Hornhautmittelpunkte senkrecht liegenden Richtung, welche ich die gerade mittle Sehrichtung nenne. Reizung eines oder beider Kernflecke verursacht mir eine in der geraden mittlen Sehrichtung gelegene Erscheinung, gleichgültig, ob meine Augen eine mittle Geradstellung oder eine mir unbekannte andre Stellung haben.

Es ist irrig, wenn man meint, die Augenstellung d. h. der Spannungszustand der verschiedenen Augenmuskeln könne uns als solcher in jedem Augenblicke zum Bewusstsein kommen. Eine Augenstellung, welche ich nicht willkührlich hervorgerufen habe, und die ich also nicht schon ungefähr kannte, ehe sie eintrat, eine solche vielmehr, die ohne meinen besondern Willen eintritt, weiss ich gar nicht zu schätzen, es sei denn, dass ich aus den Verhältnissen des Sehraumes den Schluss ziehen kann, meine Augenstellung sei so oder so. Denn für gewöhnlich messe ich die Grösse der willkührlich geschehenden Bewegung an der Wanderung der Dinge über meine Netzhaut. Aber die infolge unwillkührlicher Aenderungen der Augenstellung eintretenden Verschiebungen der Netzhautbilder beziehe ich auf die Sehdinge, statt auf meine Augen, weil ich von deren Muskelthätigkeit nichts sicher zu deutendes erfahre. Ich will hier nicht von den Scheinbewegungen sprechen, wie sie bei Krämpfen einzelner Augenmuskeln, beim Verschieben der Augäpfel durch Fingerdruck, beim heftigen Schütteln des Kopfes eintreten, denn hierbei werden die einfachen Sehdinge meist zu Doppelbildern, und schon dies Zerfallen bedingt eine Scheinbewegung: ich will vielmehr jene Scheinbewegungen anführen, welche in Folge gewisser unwillkührlicher Nachbewegungen der Augen eintreten. Erzeuge ich mir durch doppeläugige Betrachtung eines weissen, sonnenbeschienenen Fleckes auf dunklem Grunde ein lang dauerndes Nachbild, schliesse nun die Augen, drehe mich mehrere Male rasch um mich selbst und bleibe dann stehen, so sehe ich das

Nachbild *einfach und völlig unbewegt grade vor mir, obwohl sich unterdess meine Augen heftig bewegen.* Denn dieselben drehen sich zwangsweise in der vorhergegangenen Drehrichtung seitwärts, bis sie nicht weiter können, fliegen sodann zurück und drehen sich abermals seitwärts und so fort mit abnehmender Stärke. *Von dieser ganzen Bewegung merke ich trotz der gespanntesten Aufmerksamkeit nichts*, als höchstens hie und da ein unbestimmtes durchaus nicht auf die Augenstellung zu deutendes leises Druckgefühl. Oeffne ich aber die Augen, so eilt der ganze Sehraum in entgegengesetzter Richtung fort, ohne dass das eben betrachtete Ding dabei doppelt erschiene; und sehe ich auf eine grosse weisse Fläche, so bleibt diese selbst zwar unverändert, weil an Stelle des fliehenden Weiss gleiches Weiss tritt, also eine Bewegung der Wand nicht unterschieden werden kann, wohl aber zieht das Nachbild, das bei geschlossnen und eben so bewegten Augen ruhig blieb, nun mehr oder weniger rasch über die weisse Fläche, die nur scheinbar ruhig bleibt, deren Netzhautbild sich aber gleichzeitig fortschiebt: Beweis genug, dass allein die Verschiebungen der Netzhautbilder und nicht die Spannungsgefühle der Muskeln mich über die Aenderungen meiner Augenstellung belehren. Habe ich eine Augenstellung willkührlich hervorgerufen, so weiss ich freilich im Voraus die Richtung und die ungefähre Grösse der Bewegung, denn sonst hätte ich eben diese Bewegung nicht wollen können, und sowohl die Richtung als das ungefähre, zu einer bestimmten Bewegungsgrösse nöthige Kraftmaass wird durch den Willen bestimmt; ob aber ausgeführt, ist Sache der Augenmuskeln selbst, und wenn ich nicht mit meiner Netzhaut sehen könnte, so wüsste ich nichts über die Vollstreckung meines Willens und könnte sie nicht leiten, ebensowenig wie ich von der Arbeit der Muskeln durch sie selbst etwas erfahre, so lange sie in oben beschriebener Weise ohne oder sogar wider meinen Willen thätig sind. Und könnte ich nicht das Auge öffnen und wanderten nicht die Dinge über meine Netzhaut, so erführe ich vielleicht nie etwas von dieser geheimen Muskelarbeit. Ebensowenig, wie über die Gerad- oder Schiefstellung der Augen, werde ich von den Augenmuskeln über die Fern- oder Nahstellung meines Doppelauges unterrichtet. Denn die unangenehmen Gefühle bei übertriebenen Nahstellungen wie auch bei derartigen Hoch-, Tief-, Rechts- oder Linksstellungen können hier gar nicht in Betracht kommen. Die *Augenlider* geben unendlich mehr Empfindungen bei den Augenbewegungen als die für gewöhnlich ganz unbemerkbar sich spannenden Augenmuskeln. Schon Volkmann a. a. O. behauptete, dass man den Muskelgefühlen des Auges eine übertriebene Rolle zuschreibe, und meinte, dass man, wenn man die Feinheit des Muskelsinnes zu messen geglaubt, wohl eigentlich nur die Feinheit der räumlichen Unterscheidung gemessen habe. Dass dies wirklich der Fall ist, werde ich bei Besprechung des Muskelsinnes zu beweisen versuchen. Auch Lotze wies in seiner mediz. Psychologie eindringlich auf die Unzulässigkeit der Rolle hin, die man die Augenmuskeln noch immer spielen lässt. Ihr sogenannter Sinn existirt gar nicht und wenn man die

Augen geschlossen hat, so kann man keinerlei Beobachtungen oder Messungen über ihn anstellen. Denn was man von ihm beobachtet oder gemessen hat, war Gesichts- und nicht Muskelempfindung.

§. 12.

Der Einfachheit wegen berücksichtige ich im Folgenden lediglich die mittlen geraden Augenstellungen und zwar ebensowohl die gerade Fern- als die gerade Nahstellung. — Biete ich meinem geradgestellten Doppelauge einen schwarzen Fleck auf diesem senkrecht vors Gesicht gehaltnen Blatte, so bildet sich derselbe, sofern ich ihn betrachte, auf den beiden Kernflecken meines Doppelauges ab, und ich sehe ihn demzufolge einfach und in der geraden Sehrichtung vor mir auf der Sehebene dieses Blattes. Da die Augenstellung die Sehferne des Blattes nicht mit bestimmt, sondern dieselbe ausser durch das Netzhautbild, lediglich durch anderweite Erfahrung gesetzt ist, so ist es gleichgültig, ob ich das Netzhautbild des einfachen schwarzen Fleckes durch passende Nahstellung des Doppelauges auf dessen Kernflecke bringe, oder ob ich dem Doppelauge eine Fernstellung gebe und vor jedes Auge einen Fleck bringe, indem ich denselben doppelt in entsprechendem Abstande auf dieses Blatt zeichne:

● ●

Stelle ich mein Doppelauge so, dass sich der linke Fleck auf dem Kernflecke des linken, der rechte auf dem Kernflecke des rechten abbildet, so sehe ich wie zuvor einen schwarzen Fleck in der geraden Sehrichtung vor mir auf diesem senkrecht vorgehaltnen Blatte; dasselbe sehe ich, wenn ich mein Doppelauge in eine solche Nahstellung bringe, dass sich die Blickrichtung des linken Auges mit der des rechten *vor* diesem Blatte kreuzt, während der linke Fleck sich auf dem rechten, der rechte auf dem linken Kernflecke abbildet. *Für alle drei so sehr verschiedene Augenstellungen bleibt also*

gleichwohl die gerade Sehrichtung, sowie die Entfernung und Einfachheit des Sehfleckes dieselbe.

Nach vielverbreiteter Ansicht sehen wir ein betrachtetes Ding da, wo die Blickrichtungen (Sehaxen, Gesichtslinien) sich schneiden. Aber man sieht, wie gesagt, die Dinge gar nicht in der Richtung einer »Gesichtslinie«, vielweniger in der Richtung beider »Gesichtslinien«, was ja überhaupt, wie schon JOH. MÜLLER sagte, undenkbar ist. Denn ich kann nicht denselben Gegenstand einfach und doch in zwei verschiedenen Richtungen zugleich sehen. Jede Reizung des Kernfleckes einer oder beider Netzhäute beziehe ich thatsächlich auf die mittle Sehrichtung, sofern ich mir nicht einer schiefen Augenstellung besonders bewusst bin. Die Sehferne des Gesehenen aber hängt nicht von der Augenstellung ab; das Netzhautbild einerseits und die Erfahrung im weitesten Sinne andrerseits bestimmen allein die Sehferne. Wäre dies nicht der Fall, so müsste das verschmolzene Bild des oben gezeichneten Doppelfleckes bei der Kreuzung der Blickrichtungen hinter dem Blatte in weiter Ferne, bei ihrer Kreuzung vor dem Blatte bedeutend näher gesehen werden als bei einer, der Ferne dieses Blattes entsprechenden Augenstellung. Dies ist nicht der Fall. Man kann wohl, wenn man sich Mühe giebt und viel Gewalt über seine Anschauungen hat, die ja bei Einzelnen ausserordentlich gross ist, beim Einfachsehn zweier schwarzer Flecke in Folge von Kreuzung der Gesichtslinien (beiderseitigen Blickrichtungen) vor den Flecken, das verschmolzene Bild beider Flecke etwas heranziehen, besonders wenn man den Blick nicht ganz ruhig hält, allein dies geht eben nur bei Dingen an, die sich wie z. B. die Flecke aus dem Zusammenhange des Uebrigen reissen lassen. Legt man zwei ganz gleiche Thaler vor sich auf den Tisch und verschmilzt sie zu einem Bilde, so erscheint dasselbe bei Fernstellung der Augen sogar näher als bei deren Nahstellung. Von einem Sehen des Thalers in dem Kreuzungsorte der beiderseitigen Blickrichtungen kann nicht die Rede sein, heranzuziehen vermag man das Thalerbild bei vorn gekreuzter Blickrichtung ein wenig, es aber bei hinten gekreuzten oder gar parallelen Blickrichtungen entsprechend fern zu sehen ist unmöglich. Und man darf nicht einwenden, dass dieses Fernsehen durch den Tisch aufgehalten werde; denn dieser verhält sich ja für mich eben auch nur als Sehobjekt wie der Thaler und müsste mit in der Ferne gesehen werden. Das ganze Verhältniss ist in Wirklichkeit umgekehrt, als die Projektionstheorie behauptet. Aus Erfahrung ist uns die Entfernung des Tisches bekannt, sei es, dass wir uns so eben erst mit den Augen über sie unterrichteten, oder sei es, dass wir sie schon längst kannten, genug wir sehen den Tisch mit einem Auge genau eben so entfernt als mit beiden, und es ist also eine weitere Belehrung über dieses Verhältniss durch das Zusammenwirken beider Augen gar nicht nöthig. Kreuzen wir nun die Blickrichtungen vor dem Tische, so tritt nur insofern Veränderung ein, als unserem linken Kernflecke der rechte, unserem rechten der linke Thaler in Wirklichkeit ferner liegt als zuvor, denn die Blickrichtungen stehen jetzt natürlich viel schräger gegen die Tischebene als zuvor. Infolge

dessen werden die Netzhautbilder kleiner und etwas quer verkürzt, was sich auch in dem verschmolzenen Bilde ausspricht. Wir sehen dieses nun wirklich kleiner und ferner; denn da unsere Augenstellung an sich gar keinen Einfluss auf das Gesehene ausübt, so wird uns Alles so erscheinen, als läge ein Thaler gerade vor uns und zwar in der Entfernung von unserer Nasenwurzel, bei welcher sein Abstand von beiden Augen genau derselbe wäre, wie jetzt der Abstand des linken Thalers vom rechten Auge, und des rechten Thalers vom linken Auge; und kreuzen wir die Sehaxen hinter den Thalern, so wird das erscheinende Verschmelzungsbild sich genau so verhalten, wie das eines Thalers sein müsste, der gerade vor unserer Nasenwurzel läge und dessen Abstand von beiden Augen genau so gross wäre, als jetzt der Abstand jedes Thalers von dem Auge seiner Seite. Dieser einfache Thaler aber müsste der Nasenwurzel näher liegen, als jetzt der Doppelthaler dem Doppelauge, denn hier steht die Blickrichtung ziemlich senkrecht auf dem Thaler, bei einem wirklich einfachen, in der Mitte liegenden Thaler aber würde sie schräg auf ihn fallen. Und soll dieser schräg gerichtete Weg zur Tischplatte so kurz sein, wie der mehr senkrecht gerichtete, so muss die Tischplatte näher rücken. Alles dies bestätigt die Beobachtung bei ruhendem Blicke. Bewegung des letztern stört etwas. Bei Besprechung der stereoskopischen Bilder soll dieser Beobachtung ausführlich gedacht, und auch die Lage der Nebenbilder berücksichtigt werden, welche in solchen Versuchen bei der Fernstellung den Augen ferner, bei der Nahestellung näher zu liegen scheinen, als das verschmolzene Mittelbild.

Von der Lage der Doppelbilder und vom Horopter.

§. 13.

Biete ich meinem Doppelauge einen in der geraden Sehrichtung, also von der Nasenwurzel in der Höhe der Augen gerade vorwärts ausgespannten Faden, und betrachte dessen ferneres Ende, so sehe ich dasselbe vermittelst meines Doppelkernflecks einfach, den Faden selbst aber doppelt. Beide Trugbilder desselben liegen in wagerechter Ebene und das eine scheint ungefähr auf mein rechtes, das andre auf mein linkes Auge zuzulaufen. Schliesse ich das linke Auge, während das rechte unverrückt das Fadenende betrachtet, so verschwindet das

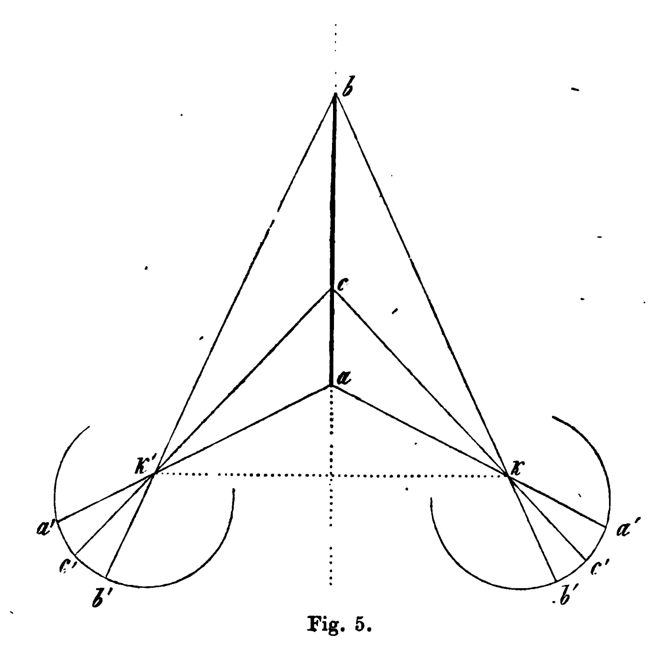


Fig. 5.

rechte Trugbild, schliesse ich das rechte, so verschwindet das linke Trugbild. Wenn *a b* Fig. 5, einen Faden oder Stab, *b'* die Kernflecke bezeichnet, so bedeckt das Netzhautbild von *a b* die Bogenstrecken *a' b'*,

so dass also nur das Ende *b* sich auf Deckstellen abbildet, jede übrige Stelle des Fadens aber gleichsam auf Gegenstellen. Beide Netzhautbilder des Fadens liegen auf den queren Mittelschnitten der Netzhäute, und da diese Schnitte, wie ich später zeigen werde, bei Fernstellung sowohl als bei jeder beliebigen nicht zu starken (d. h. ungewöhnlichen, übertriebenen) Nahstellung stets gleichgerichtet, d. h. in einer Ebene bleiben, so liegen auch die beiden Trugbilder des Fadens entsprechend in der, zu den queren Mittelschnitten zugehörigen queren Mittelebene des Sehraums, welche in unserm Falle als wagerecht angenommen ist. Gebe ich jetzt meinem Doppelauge eine stärkere gerade Nahstellung, indem ich eine mittlere Stelle des Fadens betrachte, und nehme ich an, mein Auge stände so, dass der Kernfleck *c'* der Netzhäute das Hautbild *b' a'* in gleiche Hälften theilt, so würde sich ebensowohl *ac* als *cb* auf Gegenstellen meiner Doppelnetzhaut abbilden, nämlich ersteres auf *a' c'* und letztes auf *c' b'*; da aber das *c' b'* der einen Seite die Deckstelle von *a' c'* der andern Seite ist und umgekehrt, so liegt das Bild des ganzen Fadens auf Deckstellen der Doppelnetzhaut, wenngleich jedes einzelne Stück auf Gegenstellen. Die Folge ist, dass ich den Faden einfach quer vor mir sehe. Die Stelle *c'* seines doppelten Netzhautbildes sehe ich, da sie auf den Kernflecken liegt, gerade vor mir, *c' a'* der rechten und *c' b'* der linken Netzhaut ist zu der einfach gesehen linken Hälfte des Querfadens, *a' c'* der linken und *b' c'* der rechten Netzhaut zu seiner rechten Hälfte verschmolzen. Bei diesem Versuche schmelzen mir also die Bildstellen sehr verschiedener Fadenstücke in Eins zusammen, z B. giebt *a'* und *b'* zusammen das einfache Ende des gesehenen Querfadens. Eigentlich wird der Faden als ein in der wagerechten Hauptebene liegendes Kreuz gesehen. Fig. 6 versinnlicht einen in dieser Weise gesehenen Bleistift. Man sieht nämlich einen solchen nie, wie den feinen Faden, zu einem einfachen queren Bilde verschmelzen, vielmehr erscheint er als ein wagerecht liegendes Kreuz. Dabei sieht man den Schenkel *cb* durch *ca* hindurch, da sich beide wohl der Sehrichtung nach, nicht aber dem Sehorte nach decken. Fig. 7 stellt das gesehene Kreuz in der Projektion auf eine vor dem Gesichte stehende Wand dar. Das spitze Ende *b* ist seiner grösseren Ferne wegen stärker verkürzt und erscheint also schmäler als das nähere Ende *a*. Bei günstiger Beleuchtung und auf einem recht abstechenden Hintergrunde zeigt sich

Fig. 6.

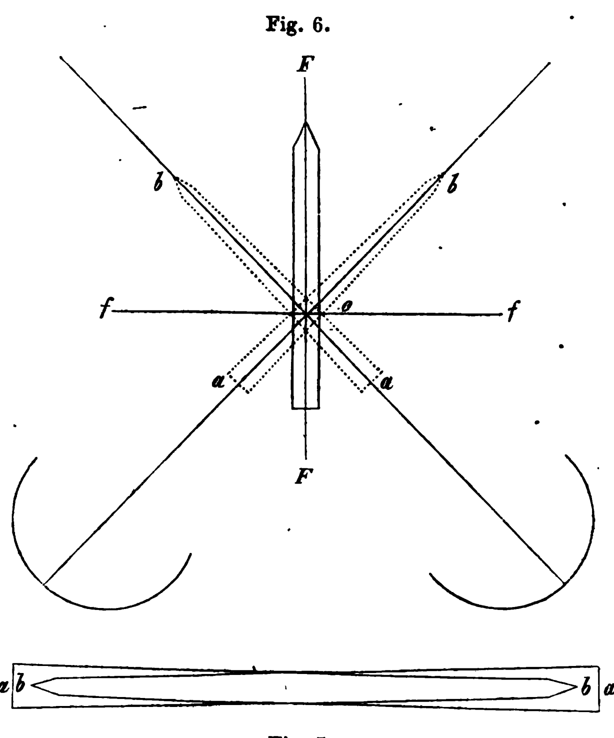


Fig. 7.

das wagerecht liegende Kreuz besonders deutlich. An einem dünnen Faden beobachte ich diese Kreuzung darum nur schwer, weil seine Trugbilder nicht soviel räumliche Unterscheidung zulassen. Durch die Vermischung des Stückes *cb* mit *ca*, Fig. 6, entsteht dann bei grosser Nähe der betrachteten Stelle *c* die Täuschung, als liege ein einfacher, in der Mitte dünner, seitlich dickerer Faden quer vor dem Gesichte, während bei scharf sich abhebenden und grösseren Dingen, wie z. B. ein Bleistift ist, dieser nur aus der Undeutlichkeit entstehende Irrthum im Tiefsehen der 4 Enden des Kreuzes *aa bb* Fig. 6 nicht leicht eintritt. Wir haben hier also ein Beispiel, dass gleichzeitig, aber von ungleichgrossen, überhaupt verschiedenen Hautbildern erregte Deckstellen das entsprechende Sehding (d. h. hier Trugbild) zwar in derselben Richtung, aber an verschiedenen Orten zur Anschauung bringen. Beweis, dass den Deckstellen nur eine einfache Richtung des Sehens nicht auch immer ein einfacher Ort

des **Sehens und damit ein einfaches Sehbild zukommt, sondern dass mit Deckstellen doppelt gesehen werden kann, wenn die Verschiedenheit der Netzhautbilder eine Vereinigung nicht zulässt.** Handelte es sich nicht um das Bild eines Bleistiftes oder selbst eines Fadens, der doch immer noch Rauminhalt hat und deshalb eben mit seinem ferneren Ende ein kleineres, verkürzteres Hautbild giebt, als mit dem nahen Ende; sondern wäre das Sehobjekt eine wirkliche Linie ohne allen Rauminhalt, so würde einer Verschmelzung der beiden Trugbilder dieser frei und zusammenhangslos durch den Raum laufenden Linie keine Verschiedenheit der Netzhautbilder entgegenstehen und die beiden Trugbilder würden stets zu einer einfachen, senkrecht auf der graden Sehrichtung liegenden Querlinie *ff* Fig. 6, verschmelzen. — Sobald ich aber bei dem beschriebenen Versuche das Fadenende *b*, Fig. 5, aus der wagerechten Mittelebene hebe oder senke, während ich nach wie vor *c* betrachte, so dreht sich das Netzhautbild *a' b'*, um *c'* als Mitte, aus dem queren Mittelschnitte heraus, und wenn ich z. B. *b* gehoben habe, rückt *b'* unter den Mittelschnitt, *a'* über denselben. In Folge dessen, sehe ich *b* höher, *a* tiefer als *c*, und also nicht mehr in der wagerechten, queren Mittelebene des Sehraumes. Das rechte Netzhautbild deckt jetzt nicht mehr das linke, nur *c* bildet sich noch auf Deckstellen ab und wird einfach gesehen als der Kreuzungsort zweier Fäden, die nicht mehr in der wagerechten Ebene liegen und von denen der eine auf mein linkes, der andere auf mein rechtes Auge zuzulaufen scheint. Rücke ich mit meinem Blicke auf dem Faden vor, so rückt auch der Kreuzungsort vor und der **Kreuzungswinkel beider Trugbilder wird spitzer**; rückt mein Blick zurück und erhält das Doppelauge eine stärkere Nahstellung, so nähert sich auch der Kreuzungsort meiner Nasenwurzel und der Kreuzungswinkel der beiden Trugbilder nimmt zu. Schliesse ich ein Auge, so bleibt das entgegengesetzte Trugbild in unveränderter Lage. Dies Alles erklärt sich einfach aus der Thatsache, dass nur der auf dem Kernflecke abgebildete Theil in der geraden Sehrichtung, alles übrige aber nur seitwärts gesehen werden kann, wobei es auf Grundlage des übrigen Netzhautbildes und der Erfahrung einäugig in die Tiefe ausgelegt wird.

Der beschriebene Versuch lehrt, was schon Joh. Müller aus dem Wettstreite der Sehfelder ableitet, dass es nicht einerlei ist, ob zwei ver-

schiedene Lichteindrücke auf dieselbe Stelle einer Netzhaut oder auf Deckstellen zweier Netzhäute treffen. Man erkennt, dass beide Augen nur darum einfach sehen, weil jede Deckstelle mit der ihr zugehörigen in derselben Richtung sieht, so dass, wenn nun auch die Hautbilder gleich sind und dieselben Bedingungen der Fernlegung für beide da sind, die einfache Ortgebung sich von selbst versteht; während, wenn die Erregung der einen Deckstelle in einen andern Zusammenhang gehört, als die der zugehörigen andern, nun auch beide Stellen ihre Erregung in verschiedene Ferne legen, wobei bald das eine bald das andere Trugbild deutlicher gesehen wird, je nachdem die Energie der Erregung oder die Aufmerksamkeit wechselt..

§. 14.

Gleichgültig also ist es für das richtige Ortsehen der Fadenstelle *c*, Fig. 5, ob ich sie rechtsäugig oder linksäugig oder doppeläugig betrachte; sie behauptet ihren Ort im Sehraume, so lange der Blick auf ihr ruht. Die betrachtete Stelle des wirklichen Raumes bildet die Kernstelle meines Sehraums. Sie wird unter allen Umständen einfach und bei der geraden Augenstellung in der geraden Sehrichtung gesehen. Immer, mag ich einäugig oder doppeläugig sehen, beziehe ich die Richtung des Gesehenen auf die Mittelstelle zwischen beiden Augen, d. h. auf die Nasenwurzel und es verhält sich bis hieher Alles ebenso, als hätte ich zwei sich deckende mittle Netzhäute, deren Bild nun räumlich auszulegen wäre. Mit dem Doppelauge sehe ich also z. B. *d*, Fig. 8, einfach und am richtigen Orte. Nun gilt es *b* und *a* richtig so unterzubringen, dass sich deren räumliches Verhältniss zu *d* nicht ändert; *b* aber bildet sich im rechten Auge links, im linken rechts von *d* ab, muss also ebensowohl rechts als links von der geraden Sehrichtung *mb* gesehen werden, welche *d* unter allen Umständen behauptet. Die selbstverständliche Folge ist, dass es doppelt erscheint als β' und β'' und ebenso jede andere Stelle, so dass, wie Fig. 8 lehrt, das Fadentrugbild jedes Auges um ebensoviel aus der Richtung *mb* des wirklichen Fadens verdreht erscheint, als die einäugige Blickrichtung $d'\,d$ oder $d''\,d$ von der mittlen Sehrichtung *mb* abweicht. Der gesehene Kreuzungswinkel der Trugbilder aber beträgt demnach das Doppelte. Das Netzhautbild jedes Auges wird also von mir so in den einen Sehraum ausgelegt, als lägen m' und m'' in m und der Sehraum jedes Einauges erscheint um den Winkel $m'dm$ oder $m''dm$ gegen den wirklichen Raum wagerecht verdreht, und zwar um

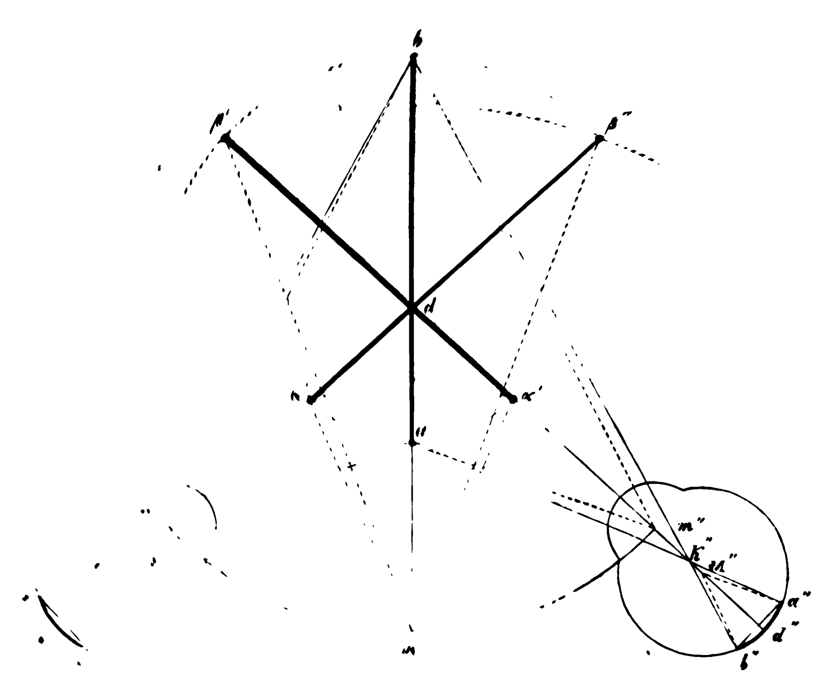


Fig. 8.

die Kernstelle k des Sehraumes, welche dem linksäugigen, dem rechtsäugigen und dem doppeläugigen Sehraume gemeinsam angehört. In Fig. 8 ist m von k ebensoweit entfernt als m' oder m''; db ist $= d\beta'' = d\beta'$, $da = da' = da''$, $mb = m\beta = m'b = m\beta'$, $ma = ma' = m''a = ma''$.

Ich wiederhole kurz: Die betrachtete Stelle d des wirklichen Raumes bildet die Kernstelle meines Sehraumes. Sie erscheint, auch doppeläugig betrachtet, einfach. Um die Kernstelle liegen die Trugbilder einseitig herum, indem gleichsam jedes Auge seine Netzhautbilder, je nach ihrem räumlichen Verhältniss zum Kernpunkte, um die Kernstelle des gemeinsamen Sehraumes nicht nach seinen eigenen Hauptsehrichtungen, sondern nach den doppeläugigen Sehrichtungen aus[illegible] der einäugigen Sehräume sind also so durch[illegible] [illegible] um die [illegible] Mit[illegible] und zwar um den [illegible] Sehrichtung [illegible] zusammenfällt.

Ueberall kann man sich Beweise für diese Verhältnisse sammeln. Stehe ich z. B. in einer Allee, und gebe, während mein Gesicht geradaus gerichtet ist, meinen Augen durch Einwärtsschielen eine solche Nahstellung, dass ein bestimmter Baumstamm der linken Baumreihe sich auf dem Kernflecke meiner rechten Netzhaut, der entsprechende und ähnliche Stamm der rechten Reihe sich entsprechend im linken Auge abbildet, so schmilzt das Bild beider Baumstämme in eines, ohne jedoch sich zu nähern, und sämmtliche Bäume erscheinen doppelt, nur die zwei auf dem Kernflecke abgebildeten sind in einen verschmolzen. Der Winkel aber, den die beiden Trugbilder der Baumreihen mit einander machen, richtet sich nach dem Kreuzungswinkel meiner beiden einäugigen Blickrichtungen. Nähere ich mich den beiden im Sehbilde verschmolzenen Bäumen, während ich ihr einfaches Bild aufrecht erhalte, so nimmt der Kreuzungswinkel der Baumreihen zu, weil die Nahstellung des Doppelauges entsprechend stärker geworden ist. Der Kreuzungswinkel der beiden gesehenen Alleen entspricht dem Winkel, unter welchem der linke Sehraum gegen den rechten um den Ort des, durch die Verschmelzung zweier Baumbilder entstandenen, scheinbaren Baumes gedreht ist. Nach der Projektionstheorie müssten die Bäume, sobald die Blickrichtungen sich vor ihnen kreuzen, in dieser Stelle ein Vereinigungsbild geben. Statt dessen erscheint das vereinigte Bild des Baumes in derselben Entfernung, in welcher ein wirklich einfacher Baum stehen müsste, um auf denselben Netzhautstellen dieselben Bilder zu geben. Ein solcher würde nehmlich, wenn er doppeläugig betrachtet würde, sich ebenfalls auf beiden Kernflecken abbilden und von jedem Kernflecke ebensoweit entfernt sein, als der rechte und linke Baum es jetzt sind. Nicht die Augenstellung also bedingt für den ruhenden Blick die gesehene Ferne des Baumes, sondern die Bedingungen zu richtiger Tiefenauslegung, wie sie in den Netzhautbildern selbst liegen, bestimmen an der Hand der Erfahrung die Ferne der Kernstellen des Sehraumes, sei diese nun durch das Sehbild eines wirklich einfachen Dinges oder, wie in unserm Beispiele, durch das verschmolzene Bild zweier räumlich verschiedener, sonst aber einander ähnlicher Dinge erfüllt.

§. 15.

Aus dem Verhältniss der drei Sehräume, d. i. des linksäugigen, des rechtsäugigen und des doppeläugigen, zueinander erklärt sich die Lage der Doppelbilder, sowie die Ortstäuschung, der ich beim einäugigen Sehen ausgesetzt bin. Es ist bekannt, dass die meisten Menschen von Doppelbildern beim gewöhnlichen Sehen überhaupt nichts wissen. Die Aufmerksamkeit ist stets bei dem eben betrachteten Dinge, d. h. also an und in nächster Nachbarschaft der Kernstelle des doppeläugigen Sehraumes. Indem ich mit meinem Doppelblicke umherwandre, mache ich nacheinander jeden Ort der Wandrung zur Kern-

stelle, und weil meine Aufmerksamkeit mit dem Blicke wandert, übersehe ich, dass eine frühere Kernstelle zu einem Doppelbilde zerfällt. Die Aufmerksamkeit wird um so mehr an die jeweilige Kernstelle des Sehraumes gefesselt, weil diese die deutlichste ist, alles Uebrige aber mehr oder weniger verwaschen erscheint, theils in Folge der Zerstreuungskreise der Netzhautbilder, theils weil die Seitentheile der Netzhaut stumpfer sehen, theils weil sich auf Deckstellen der Netzhäute gleichzeitig verschiedene Gegenstände abbilden, so dass im Sehraume an ein und demselben Orte oder wenigstens in e i n e r Richtung zwei Trugbilder liegen, die sich nicht decken lassen, sich aber gleichwohl stören, wie dies in §. 13 beschrieben wurde. Hat man sich geübt, seine Aufmerksamkeit von der Augenstellung unabhängig zu machen und mit ersterer allein den Sehraum ähnlich zu durchwandern, wie man es gewöhnlich unter begleitender Aenderung der Augenstellung zu thun pflegt, so stösst man beim Nahesehen immer auf zahlreiche Doppelbilder. Ich habe bisher das Sehen eines Dinges, wenn auf letzterem sowohl der Blick als die Aufmerksamkeit ruhte, B e t r a c h t e n genannt, ich will das von der Augenstellung unabhängige und nur von der Aufmerksamkeit geleitete Sehen B e a c h t e n nennen. Wendet sich also meine Aufmerksamkeit von der Kernstelle des Sehraumes ab, ohne dass die Augenstellung sich verändert, so kann ich hinfort nur noch beachten; denn bei ruhendem Blicke kann nur die Kernstelle des Sehraumes Gegenstand der Betrachtung sein. In Fig. 9 habe ich in allgemeinem Umrisse die Lage der Doppelbilder angegeben, wenn d die einfach gesehene Kernstelle des Sehraumes ist. k' und k'' sind die Kreuzungspunkte der einäugigen Hauptstrahlrichtungen, welche also im Mittelpunkte der Hornhautkrümmung liegen. k ist so weit von d entfernt als k' und k''; es ist jener mittle Ort, auf welchen ich mir beim Sehen alle Richtungen und Entfernungen bezogen denke; f' und f'' sind die Kernflecke der Doppelnetzhaut, und ihre Bilder von d werden also in der geraden Sehrichtung 4 in d zu einem einfachen Sehbilde vereinigt, welches den wirklichen Gegenstand d deckt; denn ich setze hier voraus, dass ich d auch in der richtigen Entfernung zu sehen vermag, sei es nun, dass mir der ganze Sehraum hon längst bekannt ist, wie dies z. B. in meinem Zimmer der Fall , sei es, dass die Art der Beleuchtung, frühere Erfahrung über liche Gegenstände und überhaupt das Netzhautbild eine richtige

Dingen (*n* und *m*) gehörige Trugbilder *n'* und *m''* an einem Orte. Sind die entsprechenden beiden Netzhautbilder gleich, so wird hier z. B. ein Einbild entstehen können, das von zwei verschiedenen Dingen nämlich von *m* und *n* verursacht wird. Sind *n* und *m* gleichgrosse Kugeln, so bildet sich im linken Auge die Kugel *n* ebensoweit links von *f'* ab, als *m* auf der rechten Netzhaut links von *f''* abgebildet wird; die Entfernung $k'n$ ist $= k''m$; folglich das linke Netzhautbild von *n* so gross als das rechte von *m*. Beide liegen auf Deckstellen, haben dieselben Ansprüche auf Fernsicht und werden demnach von mir in dem Einbilde *m'' n'* vereinigt gesehen. — Die beiden Trugbilder von *c* liegen beide in derselben Richtung 5. *c''* ist das rechtsäugige, *c'* das linksäugige. Aber *c* ist seinem rechten Netzhautbilde viel näher als seinem linken, das rechte Netzhautbild und entsprechend das Trugbild *c''* daher viel grösser als das linke *c'*; darum lassen sich beide nicht vereinigen, und ich sehe das kleine Trugbild *c'* durch das grosse *c''* hindurch, übersehe aber auch leicht das eine ganz, wenn mein Auge gerade für das andere scharf eingestellt ist. Ist *c* eine weisse Kugel und findet sich in der Richtung 5' ein schwarzer Hintergrund, in der Richtung 5'' ein weisser, so erhält das Bild des linken Auges durch sein Abstechen gegen den Hintergrund ein bedeutendes Uebergewicht; ich sehe nun *c'* und übersehe dabei vielleicht das rechte Trugbild gänzlich, weil es sich nicht gegen seinen Hintergrund abhebt. Aehnlich wie das Ding *c* verhalten sich alle auf dem Kreise *k'dk''* gelegenen Dinge; ihr Doppelbild, d. i. ihre beiden Trugbilder liegen in einer Sehrichtung; denn $\angle dk'c = \angle dk''c$, wie bekannt. *c* liegt auf dem Kreise *k' d c k''*; alle Dinge die auf diesem Kreise liegen, der durch die betrachtete Kernstelle *d* und durch die beiden Hornhautmittelpunkte *k'* und *k''* bestimmt ist, geben in einer Richtung liegende Trugbilder; denn wie in der Zeichnung die beiden auf der Sehne *dc* ruhenden und in den Kreisstellen *k'* und *k''* sich spitzenden Winkel gleich sind, so müsste nach bekanntem Gesetze jedes andere auf einer beliebigen Sehne ruhende und in *k'* und *k''* sich spitzende Winkelpaar gleich sein. Wie *c* bei der Betrachtung von *d*, so verhält sich auch *n* bei der Betrachtung von *m*, d. h. es liegt ebenfalls auf einem durch die betrachtete Stelle und durch die beiden Mittelpunkte der Hornhäute gezogenen Kreise. Je weiter nun die betrachtete Stelle vom Doppelauge liegt, desto grösser wird

die übrigen Dinge geben Doppelbilder. a z. B. wird vom rechten Auge links von d, vom linken Auge rechts von d, beidenfalls in der Entfernung $k' a = k'' a$ von k aus gesehen, mir also in a' und a'' erscheinen. Entsprechend wird das wirkliche Ding e in e' und e'', n in n' und n'', m in m' und m'' gesehen. Die Zeichnung lehrt zugleich, dass das hinter d gelegene Ding m ein ungekreuztes, das davor gelegene a ein gekreuztes Doppelbild giebt. Denn schliesse ich z. B. das linke Auge, so verschwindet mir das rechts von d in der Richtung 5 gesehene Bild a' und das links von d in der Richtung 3 gesehene Bild m'. Alle Doppelbilder sind in der Zeichnung als kleine Kreise versinnlicht, und entsprechen den mit gleichen Buchstaben bezeichneten runden Flecken, welche die wirklichen Dinge darstellen sollen. Jeder einmal gestrichene Buchstabe bezeichnet ein dem linken, jeder zweimal gestrichene ein dem rechten Auge angehöriges Trugbild. Man sieht, wie verschiedene Trugbilder in der einzigen Richtung 5 erscheinen können: z. B. die zu ungekreuzten Doppelbildern gehörigen Trugbilder c'', c', e', n' und m'' und das zu einem gekreuzten gehörige a'. Es kommt in Wirklichkeit oft vor, dass zwei Trugbilder zugleich in derselben Richtung erscheinen. Achte ich nicht besonders darauf, so drängt sich höchstens dasjenige in mein Bewusstsein, dass durch sich selbst oder durch sein Abstechen gegen die Umgebung das deutlichste, auffallendste ist. Kommt z. B. das Trugbild a' und m'' in dieselbe Richtung 5 zu liegen, so habe ich den in §. 13 beschriebenen Fall, wo ich ein Trugbild durch das andere hindurch sehen kann, was gar nicht so selten eintritt, wenn ein Vermengen beider Trugbilder durch die sonstigen räumlichen Verhältnisse verhütet wird. Freilich sehe ich dann nicht eigentlich beide Trugbilder zugleich, vielmehr ist meine Aufmerksamkeit z. B. zuerst bei dem nahen a' und dann wieder bei dem fernen m'', und da ich viel Uebung habe, so folgt sogar ohne Aenderung der Augenstellung die Anpassung meines Auges zuweilen meiner Aufmerksamkeit, gerade so, wie beim einäugigen Sehen zweier kleiner, ungefähr in derselben Sehrichtung gelegener aber verschieden ferner Dinge sich mein Auge dem Wechsel der Aufmerksamkeit entsprechend für nah und fern einstellt. Doch man lernt nur sehr schwer die Anpassung der Augen von der Augenstellung einigermassen unabhängig zu machen. — Auf der Sehrichtung 5 sehen wir zwei zu verschiedenen

Dingen (*n* und *m*) gehörige Trugbilder *n'* und *m''* an e i n e m Orte. Sind die entsprechenden beiden Netzhautbilder gleich, so wird hier z. B. ein Einbild entstehen können, das von zwei verschiedenen Dingen nämlich von *m* und *n* verursacht wird. Sind *n* und *m* gleichgrosse Kugeln, so bildet sich im linken Auge die Kugel *n* ebensoweit links von *f'* ab, als *m* auf der rechten Netzhaut links von *f''* abgebildet wird; die Entfernung *k' n* ist = *k'' m*; folglich das linke Netzhautbild von *n* so gross als das rechte von *m*. Beide liegen auf Deckstellen, haben dieselben Ansprüche auf Fernsicht und werden demnach von mir in dem Einbilde *m'' n'* vereinigt gesehen. — Die beiden Trugbilder von *c* liegen beide in derselben Richtung 5. *c''* ist das rechtsäugige, *c'* das linksäugige. Aber *c* ist seinem rechten Netzhautbilde viel näher als seinem linken, das rechte Netzhautbild und entsprechend das Trugbild *c''* daher viel grösser als das linke *c'*; darum lassen sich beide nicht vereinigen, und ich sehe das kleine Trugbild *c'* durch das grosse *c''* hindurch, übersehe aber auch leicht das eine ganz, wenn mein Auge gerade für das andere scharf eingestellt ist. Ist *c* eine weisse Kugel und findet sich in der Richtung 5' ein schwarzer Hintergrund, in der Richtung 5'' ein weisser, so erhält das Bild des linken Auges durch sein Abstechen gegen den Hintergrund ein bedeutendes Uebergewicht; ich sehe nun *c'* und übersehe dabei vielleicht das rechte Trugbild gänzlich, weil es sich nicht gegen seinen Hintergrund abhebt. Aehnlich wie das Ding *c* verhalten sich alle auf dem Kreise *k'dk''* gelegenen Dinge; ihr Doppelbild, d. i. ihre beiden Trugbilder liegen in e i n e r Sehrichtung; denn $< dk'c = < dk''c$, wie bekannt. *c* liegt auf dem Kreise *k' d c k''*; alle Dinge die auf diesem Kreise liegen, der durch die betrachtete Kernstelle *d* und durch die beiden Hornhautmittelpunkte *k'* und *k''* bestimmt ist, geben in e i n e r Richtung liegende Trugbilder; denn wie in der Zeichnung die beiden auf der Sehne *dc* ruhenden und in den Kreisstellen *k'* und *k''* sich spitzenden Winkel gleich sind, so müsste nach bekanntem Gesetze jedes andere auf einer beliebigen Sehne ruhende und in *k'* und *k''* sich spitzende Winkelpaar gleich sein. Wie *c* bei der Betrachtung von *d*, so verhält sich auch *n* bei der Betrachtung von *m*, d. h. es liegt ebenfalls auf einem durch die betrachtete Stelle und durch die beiden Mittelpunkte der Hornhäute gezogenen Kreise. Je weiter nun die betrachtete Stelle vom Doppelauge liegt, desto grösser wird

der entsprechende Kreis, desto kleiner die verhältnissmässige Verschiedenheit der Entfernung eines seitlich auf diesem Kreise gelegenen Dinges vom linken und rechten Auge, desto unbedeutender die Grössenverschiedenheit der beiden Netzhautbilder und der Abstand der Trugbilder von ihrem Dinge, sowie untereinander. Bedenkt man nun, wie rasch die Deutlichkeit des Sehens nach der Seite hin abnimmt, wie bald also eine Grössenverschiedenheit zweier zugehöriger Netzhautbilder ausserhalb der Grenzen der Wahrnehmbarkeit kommt, bedenkt man ferner, dass beim gewöhnlichen Sehen die Aufmerksamkeit sich mit den Seitentheilen des Sehraumes überhaupt nicht abgiebt, und sobald sie durch etwas Seitliches angezogen wird, sofort die Augen mitnimmt und die betreffende Stelle zur Kernstelle erhebt: so wird begreiflich, dass die aus der Zeichnung ersichtlichen Orts- und Grössenverschiedenheiten zweier zugehöriger Trugbilder eines auf dem Trennungskreise (wie ich den Kreis $k' d c k''$ nennen will) gelegenen Dinges schon bei einiger Entfernung des betrachteten Dinges vom Doppelauge in Wirklichkeit unwesentlich werden, und dass unter solchen Verhältnissen leicht das doppelte Trugbild, d. h. also das Doppelbild zu einem Einbild verschmolzen wird.

§. 16.

Der durch die beiden Hornhautmittelpunkte k' und k'' und die Kernstelle des Sehraumes, d. h. durch den Schnittpunkt d der beiderseitigen Blickrichtungen gehende Kreis ist also der Ort aller derjenigen Dinge, deren Doppelbilde beim doppeläugigen Sehen eine einfache Sehrichtung zukommt. Je näher dieser Kreis den Augen liegt, d. h. je grösser die Nahstellung des Auges ist, desto geringer ist die Möglichkeit, solche in einer Sehrichtung gelegene Trugbilder zu verschmelzen, weil in Folge verschiedener Entfernung des zugehörigen Dinges vom linken und rechten Auge beide Netzhautbilder eine verschiedene Grösse haben. Denn es können, wie ich schon oben erörterte, nur solche Doppelnetzhautbilder einfach gesehen werden, welche nicht nur in ein und derselben Richtung erscheinen, sondern auch wenigstens annähernd gleich gross sind. Für Nahstellungen des Auges würde der beschriebene Kreis also nur in sofern zum Ort des Einfachsehens werden können, als es sich um zusammenhangslose und raumlose oder wenigstens sehr

kleine Merkstellen handelte, z. B. Punkte oder kleine leuchtende Stellen. Gehören aber solche Merkstellen, trotzdem dass sie ihrer Raumlosigkeit wegen keine verschieden grossen Netzhautbilder geben können, in einen verschiednen Zusammenhang mit andern Merkstellen, von denen sie sich in der Wahrnehmung nicht sondern lassen, so werden sie trotzdem doppelt, d. h. hintereinander in verschiedner Entfernung gesehen. Je grösser der Kreis wird, desto grösser wird die Wahrscheinlichkeit der Verschmelzung zweier Trugbilder, die zu einem auf diesen Kreise gelegenen Dinge gehören, denn der Abstand eines solchen Dinges von einem Auge giebt mit dem Abstande vom andern Auge immer kleinere Unterschiede und die Netzhautbilder werden sich nicht blos an Grösse, sondern auch sonst immer ähnlicher. In grosser Nähe nehmlich kehren die Dinge, z. B. ein Finger, dem einen Auge eigentlich eine andere Seite zu als dem andern, und wenn es sich nicht geradezu um Kugeln oder Cylinder handelt, die von allen Seiten gleich aussehen, so ergiebt dies unähnliche Netzhautbilder.

Ich will nun den durch die Kernstelle und die Hornhautmittelpunkte gehenden Kreis darum den Trennungskreis nennen, weil er die ungekreuzten und die gekreuzten Doppelbilder sondert. In Fig. 10 habe ich ein Schema für die Lage der Doppelbilder gegeben, dessen Richtigkeit man an Fig. 9 prüfen kann. Also innerhalb des Trennungskreises $k' \, d \, k''$ erscheinen die Doppelbilder gekreuzt, d. h. das linksäugige Trugbild erscheint nicht links, sondern rechts vom rechtsäugigen. Liegen nun dabei beide Trugbilder auf einer Seite von der Mittelrichtung des Sehens, k 4, so nenne ich sie ein gekreuztes einseitiges Doppelbild. Liegt aber das rechtsäugige Trugbild eines gekreuzten Doppelbildes nicht blos links vom andern, sondern auch links von der mittlen Sehrichtung k 4, und das linksäugige rechts, so nenne ich ein solches Doppelbild ein gekreuztes doppelseitiges. Die beiden in Fig. 10 mit $r \, l$ bezeichneten Gebiete sind diejenigen, deren Dinge ein gekreuztes einseitiges Doppelbild geben; der mit $r \times l$ bezeichnete und durch die beiden Blickrichtungen $k' \, d$ und $k'' \, d$ abgegrenzte Raum enthält die Dinge, welche ein gekreuztes doppelseitiges Doppelbild geben. Was auf einer Blickrichtung $k' \, d$ oder $k'' \, d$ liegt, giebt ebenfalls ein gekreuztes Doppelbild, dessen eines Trugbild jedoch in der mittlen Sehrichtung k 4 (Fig. 9) erscheint. Der Trennungskreis selbst ist der Ort derjenigen

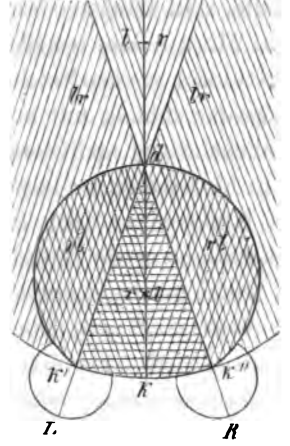


Fig. 10.

Dinge, die ein Doppelbild von einfacher Richtung geben, d. h. dessen beide Trugbilder in einer Sehrichtung gelegen sind. Ausserhalb liegen nun die Dinge der ungekreuzten Doppelbilder, deren linksäugiges Trugbild auch links vom rechtsäugigen erscheint. Von Dingen innerhalb der Blickrichtungen im Gebiete *l*—*r* sind diese ungekreuzten Doppelbilder zugleich doppelseitig, d. h. das linke liegt links, das rechte rechts von der mittlen Sehrichtung; auf einer Blickrichtung und ausserhalb des Trennungskreises gelegene Dinge geben ein ungekreuztes Doppelbild, dessen eines Trugbild auf der mittlen Sehrichtung liegt. Der übrige Raum *l r* gehört den Dingen, deren Trugbilder ungekreuzt auf einer Seite der mittlen Sehrichtung erscheinen, die also ungekreuzte einseitige Doppelbilder geben.

Noch ist kurz zu erläutern, wie man leicht den Ort der Trugbilder eines beliebigen in der queren Mittelebene des äussern Raumes gelegenen Dinges finden kann. Man nimmt seinen Abstand von der Kernstelle, z. B. also *de* Fig. 9, in den Zirkel und beschreibt damit von der Kernstelle aus einen Kreis durch den Ort des Dinges; hierauf misst man die Sehne des Bogens, welcher auf diesem Kreise zwischen der mittlen Sehrichtung und einer Blickrichtung $k'd$ oder $k''d$ liegt, nnd schneidet vom Dinge *e* aus diese Sehne auf dem gezogenen Kreise*)

*) Man müsste zu diesem Zwecke in Fig. 9 den Kreisbogen $e'ee''$ über e'' hinaus so weit fortsetzen, dass er noch die Striche $k''d$ und kd schnitte.

zu beiden Seiten ab, so erhält man e' und e''. Man hat dann nehmlich das Ding e nach beiden Seiten hin gleichsam um denselben Winkel verschoben, den die mittle Sehrichtung k 4 mit den Blickrichtungen k' 4' und k'' 4'' macht.

Dieses gegebene Schema entspricht der Wirklichkeit um so besser, je leichter die gesehenen Dinge überhaupt eine richtige Ortsgebung gestatten, je bekannter also und in sich zusammenhängender die Dinge des Sehraumes sind. Wird die Ortsunterscheidung überhaupt unsicher, so wird es noch vielmehr die der Trugbilder. Doch können sie dabei höchstens ihren Ort, nie ihre Richtung ändern, und für die Sehrichtungen bleibt das Schema nach wie vor maassgebend. Sobald man nun auf Grundlage desselben über die grössere oder kleinere Wahrscheinlichkeit der Verschmelzung zweier zugehöriger Trugbilder nachdenkt, darf man nie vergessen, dass diese Wahrscheinlichkeit oder Möglichkeit von zwei ganz verschiednen Umständen abhängt, erstens von der Identität der Richtung, in der sie erscheinen müssen, und zweitens von der Gleichheit der Netzhautbilder und also auch der Trugbilder selbst; denn nicht blos ähnlich müssen die Hautbilder sein, sondern auch gleich gross. Je geringer die Richtungsverschiedenheit ist, je ähnlicher die Hautbilder einander und je weniger verschieden an Grösse sie sind, desto mehr wächst die Wahrscheinlichkeit der Verschmelzung zugehöriger Trugbilder zu einem Einbilde. Alle diese Bedingungen werden um so besser erfüllt, je näher ein Ding der Kernstelle und je ferner die Kernstelle dem Auge liegt. Bis hierher habe ich jedoch nur von Dingen gesprochen, die in der queren Mittelebene des Raumes liegen, die sich also sämmtlich auf dem queren Mittelschnitte der Doppelnetzhaut abbilden.

Mit der Lage der Doppelbilder lehrt Fig. 9 zugleich die bei Schluss eines Auges eintretenden Täuschungen über den wirklichen Ort der in der queren Mittelebene des Raumes gelegenen Dinge a, c, e, n, m u. s. w. Schliesse ich das linke Auge, so sehe ich mit dem rechten das Ding der Kernstelle d nach wie vor am richtigen Orte, alle übrigen Dinge sehe ich als Trugbilder am falschen Orte, d. h. also an dem Orte, an welchem die dem rechten Auge zugehörige Doppelbildhälfte gelegen ist, a sehe ich in a'', c in c'' u. s. f. Ich halte also die

einäugige Blickrichtung 4″ für die doppeläugige gerade Sehrichtung 4; mein ganzer Sehraum hat sich um den Winkel *k″ d k* verschoben, *k″* ist für meine Wahrnehmung zu *k* geworden, *a*, *c* u. s. w. werden zwar in dem richtigen Abstande von *d* gesehen, aber der Ort ihres Trugbildes ist gleichsam um denselben Winkel gegen den Ort des wirklichen Dinges verschoben, um den die Blickrichtung 4″ von der mittlen Sehrichtung 4 abweicht. Schliesse ich das rechte Auge, so erfolgt die Drehung entgegengesetzt. Es ist ersichtlich, dass das wirkliche Ding, z. B. *c* und seine beiden Trugbilder *c′* und *c″* auf einem zu der Mitte *d* gehörigen Kreise liegen müssen, und dass der Bogen *c′ c* gleich dem Bogen *c″ c* sein muss. — Wäre *d* eine in der Hand gehaltene Lichtputze und stände in *m* ein Licht, so würde ich, falls ich das rechte Auge schlösse, das Licht nach links, also in *m′* sehen, während es doch gerade vor mir steht. Ich würde also, wenn ich, wie das gewöhnlich geschieht, den Weg der Hand nicht beaufsichtigte, sondern mein Auge unbedenklich in Ruhe, die Hand aber ihren längst gewohnten Griff ohne Aufsicht des Auges ausführen liesse, die Lichtputze nach links, d. h. nach *m′* hin bringen und dann, sobald ich das Licht, um es zu putzen, zur Kernstelle machte, überrascht sein, dass die Lichtputze sich wo ganz anders, nehmlich links vom Licht befindet.

§. 17.

Bis hierher habe ich nur die in der queren, hier als wagerecht angenommenen Mittelebene des Raumes gelegnen Dinge berücksichtigt; jetzt will ich unter Anleitung der Fig. 9 kurz der übrigen gedenken. Sämmtliche wagerechte Sehrichtungen der Zeichnung können als die Durchschnitte von lothrechten Sehrichtungsebenen aufgefasst werden, die also auf der Ebene der Zeichnung lothrecht ständen. Ein senkrecht auf der queren Mittelebene stehender und durch die Kernstelle *d* gehender Stab wird erfahrungsgemäss einfach gesehn. Denken wir uns nun die Stellen *d*, *a*, *c*, *e*, *n*, *m* als Schnittstellen von senkrechten Stäben, so läge jeder der letzteren in der Durchschnittslinie zweier einäugiger, in diesem Falle lothrechter Längsschnittebenen. Die Stellen *a′* und *a″*, *c′* und *c″* u. s. w. geben also den Ort an, wo die Trugbilder jedes einzelnen Stabes die quere Mittelebene des Sehraumes lothrecht durchschneiden. Das Einbild des betrachteten Stabes *d* und sämmtliche Trugbilder der übrigen Stäbe erscheinen mir demnach

gleichgerichtet lothrecht. Wenn ich dies durch den Versuch prüfen will, so lasse ich eine Anzahl vom Hintergrunde abstechender Fäden lothrecht herabhängen und spanne sie durch ein kleines Gewicht am untern Ende. Hierauf setze ich mich ungezwungen davor und mache mir an dem vordersten Faden in der ungefähren Höhe meiner Augen eine kleine Marke. Mit Hülfe eines Winkelmaasses, dass ich vorsichtig an den gemarkten Faden halte, oder nachdem ich von einer wagerechten Ebene aus (z. B. dem Wasserspiegel eines untergestellten Beckens) die Entfernung der Marke von der wagerechten Ebene gemessen habe, marke ich die übrigen Fäden genau in derselben Höhe. Betrachte ich nun einen der Fäden derart, dass seine Marke und die Doppelbilder aller übrigen Marken in einer wagerechten Ebene liegen, so weiss ich, dass sie sich sämmtlich ziemlich genau auf dem wagerechten Mittelschnitte meiner Doppelnetzhaut abbilden. Die Marken vertreten dann die Stelle der schwarzen Flecke *a, m, c* u. s. w. auf der Zeichnung. Die Entfernungen, wie sie die Zeichnung versinnlicht, halten diese Marken freilich nicht ein. Denn das einäugige Ortsehen unzusammenhängender, mir in sehr verschiedenen Grössen bekannter, unter sich ähnlicher Dinge, wie z. B. der Fäden, ist ein höchst unsicheres, und es hängt sehr von Zufälligkeiten und von meiner Willkühr ab, wo ich die Fäden sehe; bei zusammenhängenden, in ihren Grössenverhältnissen mir bekannten Dingen, z. B. den Geräthschaften meines Zimmers, einem grossen, von Gebäuden umgrenzten Platze, einer Baumallee u. s. w. ist ein solches Schwanken der Sehfernen nicht möglich. Aber es kommt mir auch bei den Fäden nicht auf den Ort, sondern auf die Richtung an, in der ich sie sehe. Wirklich zeigt sich nun, dass diese den Anforderungen der Zeichnung völlig entspricht. Steht mein Doppelauge so, dass ich alle Marken wagerecht neben einander sehe, so erscheinen die Fäden bisweilen noch nicht alle gleichgerichtet; dann habe ich nur nöthig, meinen Kopf etwas rückwärts überzulegen: und alle zeigen die gleiche Richtung, immer vorausgesetzt, dass alle Marken wagerecht nebeneinander erscheinen und mein Doppelauge unverwandt auf einer Marke ruht. Dass ich meinen Kopf etwas zurückbeugen muss, kommt daher, dass meine quere Mittelebene des Sehraums nicht ganz wagerecht, sondern etwas nach unten geneigt ist, vielleicht nur deshalb, weil ich meine Augen so sehr viel in der Nähe beschäftigt habe; dabei sind sie zu einer von der wagerechten nach

unten abweichenden Stellung gezwungen und haben vielleicht dadurch die angeborne Stellung verloren. Wenn ich zerstreut vor mich hinsehe, so sind meine Blickrichtungen stets etwas gegen den Horizont geneigt, auch dann, wenn ich den Kopf nicht geneigt, sondern z. B. mit dem Kinn auf die Hand gestützt habe. Leuten, die vorzugsweise in die Ferne sehen und nicht kurzsichtig sind, wird vielleicht die mir nöthige Rückwärtsbeugung beim Versuche nicht erforderlich sein, weil ihre Augen die angeborne Stellung behalten haben, so dass, wenn alle Augenmuskeln im Gleichgewichte sind, und sie ungezwungen aufrecht stehen, die queren Mittelschnitte der Netzhäute und die Mittelpunkte beider Netzhautkrümmungen in einer wirklich wagerechten Ebene liegen. Bei mir ist wie gesagt die Ebene dieser 4 Orte gegen die wagerechte etwas abweichend. — Habe ich also bei dem besprochenen Versuche diese Abweichung ausgeglichen, so sehe ich bei jeder beliebigen Nahstellung (»Convergenz der Augenaxen«) alle Fadenbilder gleichgerichtet; erscheint hier oder da eine kleine Abweichung, so prüfe ich durch Schluss eines Auges, ob die Abweichung auch für das Einauge, dem das betreffende Fadenbild angehört, bestehen bleibt; dies ist aus einem hier nicht weiter zu besprechenden Grunde öfters der Fall. Verschwindet jedoch die Abweichung bei Schluss eines Auges, so ist sie eine Folge des doppeläugigen Sehens gewesen. Dieser Fall tritt jedoch für mich nur bei übertriebenen Nahstellungen ein und ist hier, wo ich nur das allergewöhnlichste Sehen bespreche, nicht zu berücksichtigen. Gewöhnlich stellt sich übrigens heraus, dass ich trotz aller Vorsicht doch den Kopf verrückt oder die Augen sonstwie aus ihrer wagerechten Stellung gebracht habe. Denn sobald ich mich verleiten lasse, meine auf den Fadenbildern auf- und abwandernde Aufmerksamkeit mit den Augen zu begleiten, weichen die Fadenbilder aus ihrer lothrechten Richtung und erscheinen nicht mehr parallel. Eine Wanderung des Blicks aber in der queren Mittelebene des Raumes, also von Marke zu Marke, ändert nichts in der lothrechten Richtung aller Fäden, wenn auch ihre lothrechten Sehrichtungsebenen sich verändern. Gleichgültig also ist es, ob ich die Marke eines fernen oder nahen Fadens betrachte, die Trugbilder der übrigen sammt dem Einbild des betrachteten bleiben lothrecht. Nur dann, wenn der betrachtete Faden mir so nahe liegt, dass ich ihn nur mit Mühe einfach sehe, treten Abweichungen ein.

§. 18.

Denke ich mir lothrecht über *d* Fig. 9 ein sichtbares Ding, das ich *s* nennen will, so ist ersichtlich, dass dessen Netzhautbild auf beiden Netzhäuten von dem zu *d* gehörigen Netzhautbilde gleich weit absteht; auch werden seine beiden Netzhautbilder gleich gross sein. Mit beiden Augen sehe ich also *s* gleichhoch über *d* und erhalte deshalb ein Einbild. Denke ich mir *s* lothrecht über *a* liegend, so erscheinen seine beiden Trugbilder lothrecht über a' und a'', und der Abstand des zu *s* gehörigen von dem zu *a* gehörigen Netzhautbilde muss in beiden Augen ebenfalls derselbe sein. Liegt aber das Ding *s* lothrecht über *c*, so müssen mir zwar seine beiden Trugbilder in derselben lothrechten Sehrichtungsebene erscheinen, d. h. das eine lothrecht über c', das andre lothrecht über c'', allein die Sehrichtung des letztern wird mehr von der wagerechten abweichen, als die zu c' gehörige Sehrichtung. Denn da das Dingpaar *c* und *s* dem rechten Auge näher liegt als dem linken, so wird sein Netzhautbildpaar im rechten Auge grösser sein als links. Entsprechend macht die Richtung $k''c$ mit $k''s$ einen grössern Winkel als die Richtung $k'c$ mit $k's$. Die Sehrichtungen $k's''$ und ks' der zu *s* gehörigen Trugbilder liegen also zwar in derselben lothrechten Sehrichtungsebene, deren wagerechter Durchschnitt kc ist, aber die Richtungen selbst fallen nicht mehr zusammen, wie das für die Trugbilder von *c* der Fall war, sondern die Sehrichtung von s'', welches über c'' zu denken ist, weicht von der Wagerechten stärker nach oben ab, als die Sehrichtung von s', welches eben so hoch über c' zu denken ist. Hat also das Ding *c* wegen seiner Lage auf dem Trennungskreise den Vorzug, Trugbilder in einfacher Sehrichtung zu geben, so verliert jedes lothrecht über *c* gelegene Ding diesen Vortheil um so mehr, je höher es über *c* liegt. Bedenkt man dazu, dass auch seine Netzhautbilder, ebenso wie die von *c*, verschiedene Grösse haben, so begreift man, dass eine Verschmelzung beider Trugbilder hier doppeltes Hinderniss finden muss. Denkt man sich irgendwo über der Blattebene der Zeichnung Fig. 9 ein Ding *s*, so braucht man nur eine Senkrechte auf die Blattebene gefällt zu denken, für den Fuss dieser Senkrechten nach oben gegebener Anweisung den Ort seiner beiden Trugbilder zu suchen: dann erhält man den Ort der beiden Trugbilder von *s*, wenn man sich jedes von beiden über dem entsprechenden Trugbilde des Fusses der Senkrechten eben so hoch

liegend denkt, als das wirkliche Ding s über der Blattebene liegt. Zieht man dann im Geiste vom Sehrichtungsknoten k aus die Richtung jedes Trugbildes, so erkennt man die verschiedene Abweichung beider Richtungen von der Wagerechten. Sie ist selbstverständlich um so grösser, je mehr der Abstand zwischen dem Fusse der aus s gefällten Lothrechten und k'' verschieden ist von dem Abstande zwischen demselben Fusse und k'. Ebenso wie ein Ding über der queren Mittelebene, verhält sich ein Ding unter derselben. Folglich kann, ausser den lothrecht über oder unter d, d. i. in der Axe des Sehraumes gelegenen Dingen, kein ausserhalb der queren Mittelebene gelegenes Ding Trugbilder von genau derselben Sehrichtung geben, und die im wagerechten Trennungskreise gelegenen Dinge sind ausser jenen die einzigen im ganzen Raume, deren beide Trugbilder in einer Sehrichtung liegen können. Je weiter die Kernstelle des Sehraumes vom Doppelauge liegt, desto unbedeutender wird auch die Verschiedenheit der Netzhautbilder von Dingen über oder unter der queren Mittelebene und ebenso die Verschiedenheit der Sehrichtungen der Trugbilder, desto eher also wird eine Verschmelzung beider Trugbilder zum Einbilde möglich. Aber es ist ersichtlich, dass die Wahrscheinlichkeit der Verschmelzung viel geringer wird, wenn das Ding nach oben oder unten, als wenn es eben so weit nach rechts oder links von der Kernstelle gelegen ist. Die daraus sich ergebende grössere Leichtigkeit des Einfachsehens von Netzhautbildern, die in querer Richtung, gegenüber denen, die in der Längsrichtung von einander abweichen, denke ich bei der doppeläugigen Stereoskopie zu besprechen.

Nach Anleitung des Schemas (Fig. 9) lassen sich also die Sehrichtungen der Trugbilder finden, desgleichen, falls die Art der Dinge eine richtige Ortsbestimmung begünstigt, der Ort der Trugbilder. Aber auch für den Fall, dass die Ortsbestimmung eine sehr unsichere wäre, ist die Berücksichtigung der Zeichnung in sofern wichtig, als der Abstand jedes Trugbildes von k den wesentlichen Maassstab für die Grösse der entsprechenden Netzhautbilder giebt. So wäre z. B. das zu c' gehörige Netzhautbild nur halb so gross als das der andern Hälfte c'' des Doppelbildes. Eine Verschmelzung würde also hier des-

halb sehr schwer sein, weil die Netzhautbilder so verschieden sind, was wieder um so mehr Bedeutung hat, je näher sie dem Kernflecke liegen. So würde also hier der sonst grosse Vortheil der einfachen Richtung zweier zugehöriger Trugbilder vom Nachtheile der Grössenverschiedenheit der Netzhautbilder gänzlich übertäubt werden.

Wenn man davon absieht, dass Joh. Müller noch nicht den Kreuzungspunkt der Hauptstrahlen, d. i. in dem §. 1 gegebenen Schema der Mittelpunkt der Hornhautkrümmung, vom Mittelpunkte der Netzhautkrümmung unterschied, so fällt sein Horopterkreis mit dem Trennungskreise zusammen, der den Raum der Dinge, welche gekreuzte Doppelbilder geben, vom Raume derjenigen sondert, deren Doppelbilder ungekreuzt sind. Aber dieser Kreis ist nicht der Ort derjenigen Dinge, die einfach gesehen werden müssen, vielmehr nur derjenigen, deren Doppelbild in einfacher Sehrichtung liegt und dadurch allerdings unter Umständen die Verschmelzung seiner beiden Trugbilder begünstigt. Der geometrische Ort der einfach gesehenen Dinge kann nach der gegebenen Darlegung unter allen Umständen nur die auf der Ebene der beiden Blickrichtungen (und der mittlern Sehrichtung) senkrechte, durch die Kernstelle gehende Raumrichtung (d. i. die Sehraumaxe) sein. Dies ist also Prévost's Horopterlinie. Von Meissner's Horopterlehre später. Eine Horopterfläche ist streng genommen erst möglich, wenn alles Gesehene so fern ist, dass es beiden Augen gleiche Bilder giebt, und dann ist die Horopterfläche eine Kugelfläche, d. h. eine vergrösserte Wiederholung der Hornhaut- und Netzfläche (vergl. Fig. 1 §. 1). Ein wirklicher Horopter, d. h. Sehgrenze, ist das Himmelsgewölbe. Von der stereoskopischen Verschmelzung inkongruenter Netzhautbilder ist hier vorläufig ganz abgesehen.

§. 19.

Ist d Fig. 11 ein in der Kernstelle des Sehraumes liegendes Ding und 4 ein eben solches in der Entfernung $d4$ von der Kernstelle und ebenfalls in der queren Mittelebene des Raumes gelegenes, so sind 3 und 5 die beiden Trugbilder von 4, und zwar gehört 5 dem rechten, 3 dem linken Auge an. Sind 0, 1, 2, 3, 5, 6, 7 ebenfalls kleine sichtbare Dinge, so giebt für jedes die nächst grössere Zahl die Stelle des zum rechten, die nächst kleinere die Stelle des zum linken Auge gehörigen Trugbildes an. Untersuche ich nun die Verschiedenheit je zweier zusammengehöriger Trugbilder in Betreff ihrer Sehrichtung und der Grösse ihrer Netzhautbilder, so ergiebt sich für die Trugbilder von 1 ein sehr grosser Winkel der beiden Sehrichtungen, nehmlich $0m2$. Die Entfernung des Dinges 1 vom linken Auge ist zugleich bedeutend

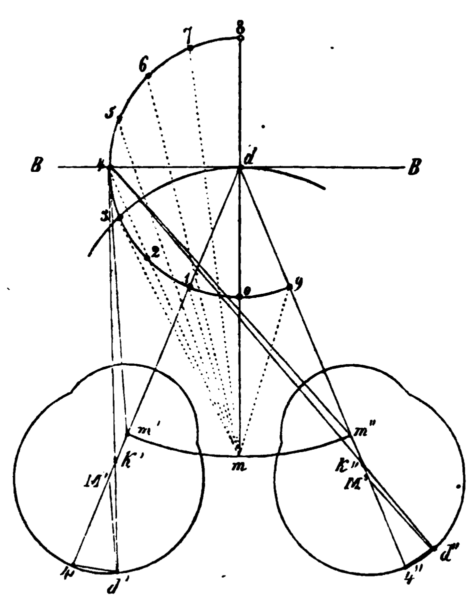


Fig. 11.

kleiner als die vom rechten Auge. Es ergiebt sich aus dem Verhältniss dieser beiden Entfernungen das ungefähre Grössenverhältniss der Netzhautbilder. 1 muss also im linken Auge ein grösseres Netzhautbild geben, als im rechten. Die Sehrichtungen der beiden Trugbilder von 2 machen zwar keinen so grossen Winkel wie die von 1, denn $< 1\,m\,3$ ist bedeutend kleiner $< 0\,m\,2$, aber die Grössenverschiedenheit der Netzhautbilder ist einer Vereinigung der Trugbilder um so ungünstiger, da das Verhältniss $m\,3$ (oder $m''\,2$) : $m\,1$ (oder $m'\,2$) grösser ist, als $m\,2 : m\,0$. Das Ding 3 möge auf dem Trennungskreise liegen. Beide Trugbilder 4 und 2 liegen in derselben Sehrichtung, aber der Abstand des Dings 3 vom linken Auge ist noch immer weit kleiner als sein Abstand vom rechten Auge, daher auch die Verschiedenheit der Netzhautbilder noch bedeutend. Dagegen verhält sich der linksäugige Abstand des Dinges 4 zum rechtsäugigen weit günstiger, und der Winkel der beiden Sehrichtungen $m\,3$ und $m\,5$ ist unter allen in Fig. 1[illegible] angegebenen Winkeln zweier zugehöriger Sehrichtungen der klein[illegible] Nur Dinge, die auf dem, die Zahlen verbindenden Kreise na[illegible] hinlägen, könnten für ihre Trugbilder kleinere Sehrichtungsw[illegible] müssten dagegen aber grössere Versch[illegible] [illegible]r Netzha[illegible]

)en. Ueber 4 hinaus, z. B. in 5, geben die Dinge zwar geringere rschiedenheit der Netzhautbilder, aber schnell wachsende Verschie- ıheit der Sehrichtungen ihrer Trugbilder. Es haben also die ugbilder, welche der Linie *d*4 nahe liegen, die, einer rschmelzung günstigsten Verhältnisse, welche hier glich sind, auch wenn nicht hinzukäme, dass die noch übrige schiedenheit des einen Trugbildes vom andern betreffs der Seh- tungen und Netzhautbilder innerhalb gewisser Grenzen eine Aus- chung erfährt, welche auf der, im folgenden Abschnitte zu bespre- ıden »einäugigen Stereoskopie« beruht.

§. 20.

Es ist also ersichtlich, dass Dinge, die der, gerade quer durch die ıstelle wagerecht laufenden Linie nahe liegen, für die Vereini- ; ihrer Trugbilder besonders günstige Verhältnisse bieten, vor- ɜsetzt, dass ihre Entfernung von der Kernstelle nicht zu gross Wie die Merkstelle 4 würde sich jede andere zwischen 4 und *d* ·ene, gesonderte Merkstelle verhalten, und zwar würde die ;hmelzung ihrer Trugbilder um so leichter werden, je geringer Entfernung von der Kernstelle wäre. Diese Verhältnisse lassen eicht an zwei Zirkelspitzen prüfen, mit denen man, bei beliebi- Abstande der Spitzen von einander, alle auf der Zeichnung ver- chten Lagen nachahmen kann, indem man die eine Spitze in der ɜn Sehrichtung fest betrachtet und nun die andere wechselnd), 1, 2, 3 u. s. w. bringt. Doch gehört zu solchen Versuchen eine Uebung in der Beobachtung von Doppelbildern, sofern man icht begnügt, die Doppelbilder in den Lagen 0, 1, 2, 6, 7, 8 n zu haben, was auch für den Ungeübten leicht ist. Ein schwar- ıgelchen auf der Zirkelspitze und ein weisser Hintergrund be- ;en die Wahrnehmung der Doppelbilder sehr.

§. 21.

will ich kurz besprechen, wie sich ein in der Längsmittel- aumes (deren Durchschnitt *md* Fig. 11 ist) über oder Mittelebene (d. i. der Blattebene), aber nicht loth- unter *d* (d. i. der Kernstelle des Sehraumes) liegen- lt. Es wi[illegible] richtung seiner Trugbilder Vinkel v[illegible] ttelebene abweichen, weil

$< s m' d = < s m'' d$ wäre, allein die Trugbilder werden in jedem Falle doppelseitige sein. Wenn der Fuss einer von s auf die quere Mittelebene gefällten Lothrechten diesseits der Kernstelle d zu liegen kommt, sind sie ausserdem gekreuzt, trifft er jenseits, ungekreuzt. Denkt man sich also durch die Kernstelle d einen feinen Stab gesteckt, den man innerhalb der Längsmittelebene, um die Kernstelle d als Mitte, vorwärts und rückwärts drehen kann, so wird jedes, der Kernstelle nicht ganz nahe Theilchen des Stabes doppelt gesehen werden müssen, und der Abstand der Trugbilder eines beliebigen Stäbtheilchens wird um so grösser sein, je weiter das betreffende Theilchen von der Kernstelle entfernt ist. Der Stab giebt also zwei in der Kernstelle sich kreuzende Trugbilder, die einen um so grösseren Winkel mit einander machen, je kleiner der Neigungswinkel zur Wagerechten ist, bis endlich der Kreuzungswinkel der grösstmögliche wird, wenn der Stab wagerecht, d. i. in die gerade Sehrichtung zu liegen kommt. Dies ist der in §. 13 am Bleistift beschriebene Fall. Sehr leicht veranschaulicht man sich die Lage der Trugbilder, wenn man in d eine kleine wagerechte Drehscheibe anbringt, in deren Mitte der Stab eingelenkt ist, also in beliebige Neigung zur Wagerechten gebracht werden kann. Will man mittels dieses Apparates die Lage des linksäugigen Trugbildes zeigen, so führt man die dem linken Auge zugewendete Drehscheibenseite nach rechts und zwar um den Winkel $m' dm$, d. i. um den halben Winkel der beiden einäugigen Blickrichtungen. Für das rechtsäugige Trugbild umgekehrt. Macht man die Drehscheibe so gross, dass man auch in beliebig von d entfernten Stellen, Stäbe in beliebiger Neigung gegen die Ebene ein- oder durchstecken kann, so giebt deren Lage nach der Drehung ebenfalls die Lage der Trugbilder an. Man bemerkt dann, wie man sich auch ohne Versuch leicht vorstellen kann, dass z. B. ein in einer beliebigen Stelle zwischen m und d, z. B. in 0 steckender und mit dem obern Ende nach m, d. i. nach der Stirn zu, geneigter Stab zwei nach oben auseinander weichende Trugbilder giebt, die in 1 und 9 durch die Ebene zu gehen scheinen, sofern man sie in den 1 und 9 entsprechenden Richtungen in der richtigen Ferne sieht, dass aber, wenn auch letzteres nicht der Fall ist, sie doch, gleichgültig in welcher Ferne ich sie sehe, nach oben auseinander laufen müssen. Denn das obere Ende des Stabes muss stärker divergente Sehrichtungen der Trugbilder

geben, als das untere in 0, weil letzteres dem Auge ferner liegt, als der Fuss einer vom oberen Stabende auf die quere Mittelebene gefällten Lothrechten. Setzt sich der in 0 steckende gerade Stab unterhalb der queren Mittelebene in seiner schiefen Richtung fort, so werden seine Trugbilder sich endlich, wenn er entsprechend lang ist, kreuzen. Geht der Stab jenseits der Kernstelle *d* in gleicher Schiefe durch die quere Mittelebene, so laufen die Trugbilder nach oben zusammen, weil dort die einzelnen Stabtheilchen, wie gezeigt wurde, ungekreuzte Doppelbilder geben. Umgekehrte Neigung des in der Längsmittelebene stehenden Stabes, kehrt natürlich auch die Richtung der Trugbilder um. Steckt der Stab gerade vor *d* so, dass sein oberes Ende nach *d* hin geneigt ist, so laufen seine Trugbilder nach oben zusammen, steckt er jenseit *d* in gleicher Weise, so laufen seine Trugbilder nach unten zusammen. Eine Fingerspitze als Kernstelle und eine Stricknadel als Stab genügen, um diese Verhältnisse in ihren allgemeinen Umrissen durch die Beobachtung zu bestätigen.

§. 22.

Die Thatsache, dass ein gegen die wagerechte Sehrichtungsebene geneigter Stab, obgleich er durch die Kernstelle geht, ein Doppelbild giebt, verhindert mich, ihn mit ruhendem Blicke einfach zu sehen. So lange der Neigungswinkel des Stabes zur Wagerechten gross ist, ist die unter ganz unbedeutendem Winkel geschehende Kreuzung seiner beiden Trugbilder kaum bemerklich; ich sehe nur, dass der Stab oben und unten breiter wird, weil die Trugbilder sich, wie Fig. 12 zeigt, theilweise decken. Dazu kommt die Thatsache, dass die Schärfe der räumlichen Unterscheidung auf der Netzhaut nach oben und unten schneller abnimmt, als nach den Seiten, also auch die Verschiedenheit der Trugbildlage nach oben und unten eher aus den Grenzen der Wahrnehmbarkeit tritt als seitlich. An sehr feinen und grell gegen ihren Hintergrund abstechenden Fäden oder Drähten sieht freilich der Geübte schon bei geringer Abweichung von der Senkrechten die Kreuzung der Trugbilder. Dem Ungeübten aber entgehen die Doppelbilder leicht, selbst dann noch oft, wenn er sie sucht. Denn nicht nur eine sichere Uebung im Festhalten eines einzigen Punktes, sondern auch ein ent-

wickelter Sinn für die Wahrnehmung des ausserhalb der Kernstelle Gelegenen gehört zu diesen Beobachtungen. Wenn man also bedenkt, wie klein die Stelle ist, in der für gewöhnlich unsere Aufmerksamkeit sich sammelt, und wie treu dazu die Augenstellung sich der geringsten Wendung der Aufmerksamkeit anschmiegt; wie ferner in Folge der in Fig. 12 versinnlichten, theilweisen Verschmelzung der beiden Trugbilder und endlich in Folge der rasch nach oben und unten hin abnehmenden Schärfe der räumlichen Unterscheidung die Wahrnehmung der Trugbilder vereitelt wird, so muss man erklärlich finden, dass man für gewöhnlich meint, ein gegen die wagerechte Sehrichtungsebene nicht allzustark geneigter Faden werde leicht einfach gesehen, was doch für den ruhenden Blick nur insofern der Fall ist, als je ein kleines Stück desselben allerdings einfach, d. h. also stereoskopisch verschmolzen gesehen werden kann, wenn man auf die übrigen Theile des Fadens nicht achtet. Vertheilt man aber seine Aufmerksamkeit auf ein grösseres Fadenstück, während man eine Fadenstelle fest fixirt, so reisst selbst das verschmolzene Stück wieder auseinander, weil es nicht mehr in die sich kreuzenden Richtungen der beiden Trugbilder des Fadens passt. Daher lassen sich wohl kleine Stäbchen nicht aber längere oder gar über das ganze Sehfeld reichende Fäden einfach sehen, wenn sie nicht senkrecht auf der geraden Sehrichtung durch die Kernstelle gehen. Konzentrirt man freilich seine Aufmerksamkeit auf ein kleines Stück, und lässt alles Uebrige unbeachtet, oder schwankt man gar mit dem Blicke hin und her, so glaubt man leicht, man sehe den ganzen Faden einfach und in seiner wirklichen Richtung. Diese letztere aber nimmt man nur wahr, einerseits bei der sogenannten stereoskopischen Verschmelzung des der Kernstelle nahe gelegenen Fadentheiles, andererseits bei einer Wanderung des Blickes den Faden entlang, wodurch er Stück für Stück stereoskopisch verschmolzen wird. Von beiden Arten der Sehsinnsthätigkeit denke ich in einem späteren Hefte zu sprechen. Hier nur noch Folgendes: Hat man auf die eben angedeutete Weise den durch die Kernstelle gehenden, in der geraden Längsmittelebene gelegenen, und etwas gegen die Wagerechte geneigten Faden zu einem theilweisen Einbilde verschmolzen, so scheint es nun, als wären die Trugbilder

Fig. 12.

eines vor oder hinter der Kernstelle, ebenfalls in der Längsmittelebene und parallel mit jenem Faden gelegenen zweiten Fadens dem ersten nicht mehr parallel. Man denke sich, die sich durchkreuzenden Trugbilder *ab* und *cd* in Fig. 12 seien in Folge einer theilweisen stereoskopischen Verschmelzung oder einer kleinen unbewussten stereoskopischen Blickwanderung, als ein einfacher, in seiner wirklichen Lage erscheinender Faden geshen worden, so wird man die Trugbilder *a′c′* und *b′d′* eines zweiten, mit dem ersten in Wirklichkeit parallelen, aber gerade vor oder gerade hinter ihm gelegenen Fadens nicht mehr dem ersten Faden parallel finden. Achtet man aber genauer auf, und vertheilt man seine Aufmerksamkeit bei völlig fester Augenstellung auf einen grösseren Raum, so wird man über und unter der Kernstelle die divergirenden Trugbilder des zuvor einfach erschienenen Fadens bemerken, und sofort wird auch das schon stereoskopisch verschmolzene Stück wieder zerreissen. Dann bemerkt man, dass die seitlichen Trugbilder den mittleren Trugbildern genau parallel laufen. Sie würden sich, entsprechend dem mittleren Doppelbilde, weiterhin auch durchkreuzen, wenn man sie sich nach der konvergirenden Seite hin entsprechend verlängert dächte. Je zwei parallellaufende von den vier Trugbildern liegen auf einer Seite, je zwei ein Doppelbild ausmachende aber divergiren, wie in Fig. 12, nach oben. Wären in dieser Zeichnung *a′c′* und *b′d′* die Trugbilder eines vor dem anderen gelegenen Faden, gingen ferner diese beiden Fäden parallel in der Längsmittelebene unter einem schiefen Winkel so durch die quere Mittelebene, dass ihr oberes Ende meiner Stirn näher läge als das untere, und hätte ich das Doppelbild *ab*, *cd* des fixirten Fadens zu einem Einbilde stereoskopisch verschmolzen, so würde sein oberes Ende stärker gegen meine Stirn geneigt erscheinen, als die beiden divergirenden Trugbilder *a′c′* und *b′d′*, nämlich ebenso, wie der wirkliche Faden gegen die quere Mittelebene geneigt wäre. Die Trugbilder aber neigen sich in Folge der verschobenen einäugigen Sehräume nach rechts und links und nicht gerade nach vorn. Diese Verhältnisse muss man sich übrigens selbst mit Hülfe einer Scheibe und darauf befestigter Stäbchen oder dergleichen veranschaulichen. Jede Auseinandersetzung wird sehr weitschweifig und steht deshalb nicht im Verhältniss zur Einfachheit der Sache.

Es ist hier der Ort, der von MEISSNER eingeführten Horopterlehre zu gedenken. Wie ich oben erwähnt habe, sind meine Augen bei ihrer Ruhestellung so gerichtet, dass ihre Blickrichtung nicht wagerecht, sondern ein wenig nach unten geht. Die Ebene der queren Mittelschnitte der Netzhäute ist also bei der Ruhestellung keine ganz wagerechte; ich habe dies nur der Einfachheit wegen so angenommen. Haben aber meine Augen jene mittle Stellung, so können sie ihrem Blicke innerhalb der, dieser Ruhestellung entsprechenden queren Mittelebene des Sehraums eine beliebige gerade Nah- oder Fernstellung geben, ohne dass die queren Mittelschnitte aus ihrer gemeinsamen Ebene gedreht würden. Ich habe dies schon oben an den Doppelbildern lothrechter Fäden bewiesen. MEISSNER hat angenommen, dass bei gerad aufgerichtetem Kopfe und wagerecht vorwärts gerichtetem Blicke seine Augen die für den Versuch einfachste Stellung hätten. Die Lage der Doppelbilder, die er bei dieser Stellung erhielt, beweisen mir, dass dies bei ihm nicht der Fall war.

Ich habe die beschriebene Sehraumaxe (PRÉVOST's Horopterlinie) theoretisch abgeleitet und sie dann durch zahlreiche Beobachtungen bestätigt gefunden, kenne auch keine Beobachtungen Anderer über Doppelbilder, die sich nicht aus dem in Fig. 9 gegebenen Schema erklären liessen. MEISSNER fand seinen Horopter experimentell. Nun ist der Weg des Versuchs von allen, die man einschlagen kann, gewiss der sicherste und giebt, vorsichtig beschritten, stets brauchbare Resultate. So auch MEISSNER's Arbeit. Aber es liegt bei dieser rein empirischen Methode die Gefahr nahe, individuelle Ergebnisse sofort allgemeingültig aufzufassen. Diess ist mit MEISSNER's Beobachtungen geschehen, und darum sind sie von mehreren Seiten (CLAPARÈDE, NAGEL) als angeblich unrichtig verworfen worden. Ich habe MEISSNER's Arbeit nicht zur Hand und kann mich hier nur an die von FUNKE in seinem Lehrbuche gegebenen Auszüge halten, will auch nur die Hauptergebnisse, die ja doch allgemein bekannt sind, als in Uebereinstimmung mit meiner Darstellung nachweisen, wenngleich ich sie anders deute. Nach MEISSNER's Angaben liegen die queren Mittelschnitte der Netzhäute (»horizontalen Trennungslinien«) erst dann in der queren Mittelebene (Ebene der beiden Blickrichtungen, »Visirebene«), wenn letztere eine Neigung von 45° gegen den Horizont hat. Ich habe im Obigen angenommen, dass bei wagerechter Blickrichtung die Ebene der queren Mittelschnitte und die »Visirebene« bei jeder beliebigen Nahstellung zusammenfallen, obgleich dies auch bei mir eigentlich nicht der Fall ist, sondern nur dann, wenn ich die »Visirebene« etwas gegen den Horizont neige. CLAPARÈDE und NAGEL behaupten, dass sie das nicht einmal nöthig haben. Ihre mittle Augenstellung entspricht also wahrscheinlich einer wagerechten Blickrichtung, vorausgesetzt, dass sie ganz genau beobachtet und innerhalb der wagerechten Blickrichtungsebene sowohl bei Fern- als Nahstellung der Augen keine Neigung der Doppelbilder streng vertikal in der Längsmittelebene des äussern Raumes gelegener Stäbe oder Fäden gesehen habe. Die mittle Augenstellung ist nicht lediglich angeboren, sondern

auch theilweise erworben, und wer vorzugsweise nur in die nächste Nähe sieht, wie der Kurzsichtige, dessen mittle Augenstellung wird sich diesem Gebrauche allmählich anpassen, weil gewisse Muskeln dabei vorzugsweise entwickelt werden. Es liegt nahe, dass dabei die Längsmittelschnitte im Wechsel der Augenstellung für nah und fern ihren »Parallelismus« beizubehalten lernen werden. Wahrscheinlich ist nun Meissner sehr kurzsichtig, vorausgesetzt, dass er bei seinen Beobachtungen immer streng darauf gehalten hat, dass die fixirte Stelle und die beiden Kernflecke seiner Netzhäute genau und unabänderlich in einer Wagerechten geblieben sind. Diess lässt sich leicht in der oben beschriebenen Weise durch die Doppelbilder von Marken controliren, die an vertikalen Fäden in der genauen Höhe der Augen angebracht sind. Was nun aber die allgemeinen Ergebnisse der Meissner'schen Beobachtungen betrifft, so berücksichtige ich nur dasjenige, was er für eine um 45° gegen den Horizont geneigte Blickrichtungsebene fand; denn diese entspricht dann in allen Hinsichten jener queren Mittelebene, auf die ich Alles bezogen habe, und Meissner's Beobachtungen stimmen in dieser Ebene mit den meinigen und mit dem gegebenen Schema überein. Auch ist diese Ebene beim wirklichen Sehen für nahe Dinge die allein wesentliche, denn in sie bringt man Alles, was man in der Nähe betrachten will; beim Fernsehen bleiben ohnehin, wie auch Meissner angiebt, die Längsmittelschnitte (»vertikalen Trennungslinien«) immer »parallel«, mag man hinauf, hinab, nach rechts oder nach links sehen, wenn die Hoch-, Tief-, Rechts- oder Linksstellung nur nicht allzu stark d. h. übertrieben ist. Meissner aber findet nicht, wie ich und schon früher Prévost, als Gesammtort des Einfachsehens beim Betrachten eines in der Quer- und Längsmittelebene zugleich gelegenen Punktes eine senkrecht auf der queren Mittelebene stehende und durch den fixirten »Punkt« gehende »Linie«, sondern eine durch diese Linie gehende und der Verbindungsrichtung beider Lichtrichtungsknoten parallele ebene Fläche. Theoretisch genommen ist diese Annahme falsch, praktisch genommen brauchbar. Durchaus aber darf man sich eine solche Fläche bei Nahstellungen nicht sehr ausgedehnt denken, nach den Seiten hin, wie ich gezeigt habe, mehr, als nach oben und unten. Und nie darf man glauben, dass die in dieser Fläche ausserhalb der Sehraumaxe (»vertikalen Durchschnittslinie der Horopterfläche«) liegenden Dinge darum einfach gesehen werden, weil sie, wie Meissner angiebt, auf identische Netzhautstellen fallen; sie werden vielmehr einfach gesehen, weil sie, wie ich andeutete, eine stereoskopische Verschmelzung ihrer auf nichtidentische Stellen fallenden Bilder vorzugsweise begünstigen. Weil die Doppelbilder eines queren Stabes, wenn er in der queren Mittelebene liegt, ein in dieser Ebene liegendes Kreuz geben, und weil der Kreuzungswinkel zweier so gelegener Trugbilder bei nicht ganz bedeutender Nähe der Kernstelle sehr klein wird, so ist es schwer, einen Schenkel durch den andern hindurch zu sehen, und es entsteht leicht eine Verschmelzung zu einem einfach erscheinenden Querstabe, wie dies ja beschriebenermassen selbst mit einem in der geraden mittlen Sehrichtung

gelegenen Faden der Fall ist (vergl. §. 13. Fig. 6 und 7). Aber wenn diese Doppelbilder auch schwer zu beobachten sind, so sind sie doch unter Umständen sichtbar zu machen. Auch ist die Weise, in der MEISSNER seine Theorie mit der Identitätslehre in Einklang zu setzen versucht, meiner Ansicht nach mit Recht von NAGEL angegriffen worden. Denn man darf nicht deshalb, weil etwas einfach gesehen wird, was nicht auf identische Netzhautstellen fallen kann, seine Ansicht über die Gestalt der Netzhaut umändern. Dann würde consequent jede stereoskopische Verschmelzung eine solche Umänderung fordern, und hätte man letztere angenommen, so würde man nun umgekehrt nicht erklären können, warum gewisse, binocular verschmolzene, flache Bilder nicht mehr in einer Ebene liegend erscheinen. Sobald man sich bemüht, das stereoskopische Einfachsehen dadurch zu erklären, dass man die wirkliche Incongruenz beider Netzhautbilder durch hypothetische Umformungen der Netzhaut aufzuheben, oder sonstwie die Bilder für die Wahrnehmung wieder congruent zu machen sucht, sobald verzichtet man auch auf eine ausreichende Erklärung des doppeläugigen stereokopischen Sehens.

Von der einäugigen Stereoskopie.

§. 23.

Nach der gegebenen Darlegung müsste man sich den ganzen Sehraum des Einauges zunächst als eine der Hornhautfläche parallele Kugelfläche denken, in deren Mitte, der Kernstelle, das betrachtete Ding liegt. Diese Sehfläche wäre nichts weiter als die um ein bestimmtes Maass vergrösserte Hornhaut- oder Netzhautfläche, und wenn sich ein Theil unseres Körpers auf dieser abbildete, so würde er uns ebenfalls flach in der kugeligen Sehfläche erscheinen. Diese Sehfläche nun müsste man sich weiterhin nach der Tiefe, d. h. stereoskopisch ausgearbeitet denken, doch so, dass im Allgemeinen ein Herausrücken des einen oder andern Bildtheiles aus der, um die Kernstelle als ihren Scheitel liegenden Kugelfläche nur in der Richtung der Kugelhalbmesser möglich wäre. Es bekämen dann also gewisse Bildtheile gleichsam ein etwas grösseres oder kleineres Maass der Vergrösserung, als das Gesammtnetzhautbild im Allgemeinen; die Sehrichtungen könnten dabei ungeändert bleiben und nach wie vor den Hauptstrahlrichtungen entsprechen. Ob und wie eine solche innerhalb enger Grenzen vor sich gehende Ungleichmässigkeit der Hautbildvergrösserung möglich ist, wird bei Besprechung des Raumsinns zu untersuchen sein. Es sei noch bemerkt, dass hier zwei ganz verschiedene Möglichkeiten zu bedenken sind. Es kann nämlich erstens von zwei Gegenständen, die uns in ihrer Grösse bekannt sind, wie z. B. beide Hände, der eine näher gesehen werden, weil er im Verhältniss zum andern in Folge seines grösseren Hautbildes grösser erscheint, oder zweitens, es kann von gleichen Dingen, z. B. zwei Kreisen, die in jeder beliebigen Grösse vorkommen können, das eine darum grösser gesehen werden, weil es ferner gesehen wird, trotzdem, dass beide Netzhautbilder gleich gross sind. Wie weit dabei die Wanderung des Blickes oder

nur der Aufmerksamkeit, die Anpassung des Auges, die Art der Beleuchtung und die Erfahrung maassgebend werden, wird am angegebenen Orte darzulegen versucht werden. Nie aber darf vergessen werden, dass wie oben gezeigt wurde, das allgemeine Maass der Vergrösserung für das gesammte Netzhautbild und sogar für beide Netzhautbilder ein gleichmässiges ist. Was lediglich die Raumverhältnisse des einäugigen Netzhautbildes betrifft, die zur Wahrnehmung der Tiefe anregen oder sogar zwingen und zwar unabhängig von allen den übrigen erwähnten Anlässen des Tiefsehens: so ist erstens wichtig, dass Alles nach unten, rechts oder links von der Kernstelle Gesehene im Allgemeinen grosse Wahrscheinlichkeit der grösseren Nähe hat; und zweitens, dass eine befriedigende Auslegung des Netzhautbildes eine gekrümmte Fläche fordert, womit schon die dritte Dimension des Raumes, die Tiefe in gewissem Grade gesetzt ist.

§. 24.

Der Abstand zweier Dinge, sei er wirklich oder nur gesehen, richtet sich nach der geradlinigen Entfernung zwischen beiden. Am gesehenen Sternhimmel sind sämmtliche Einzelabstände zwischen je zwei beliebigen Sternen, ebenso wie die zu diesen Sehnen gehörigen Bogen, gegenüber dem Hautbilde in gleichem Verhältniss vergrössert. Dies ist möglich, weil die Sternhimmelfläche der Hautfläche ähnlich ist. Wäre sie dies nicht, sondern z. B. eine Ebene, so würde sich das Hautbild, wie erwähnt, nicht ohne Verzerrung, d. h. nicht ohne ungleichmässige Vergrösserung der Einzelabstände auf dieser Ebene auslegen lassen. Biete ich einem Auge zwei kleine auf der Ebene dieses Blattes gelegene schwarze Flecken *a* und *b*, Fig. 13, so ist *b' a'* ihre gerade Entfernung im Netzhautbilde. Diese gerade Entfernung entspricht nicht der krummen Entfernung *b'ca'*, welche grösser ist. Aus Erfahrung weiss ich und sehe ich, dass dieses Blatt eben ist. Auch kenne ich, theils durch das Netzhautbild selbst, theils aus anderweiter Erfahrung die Entfernung des Blattes von meinem Gesichte. So ist mir also Gestalt und Entfernung der Blattfläche gege-

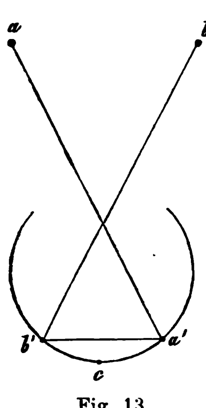


Fig. 13.

ben, ich habe eine bestimmte ebene Sehfläche und muss auf dieser das Fleckenpaar sehen. Eine Verzerrung ist nicht möglich, weil ausser den beiden Flecken nur eine **gleichmässig** weisse Färbung da ist. Ich sehe nun die Flecke in den, ihren Hautbildchen zugehörigen Sehrichtungen auf dem Papiere. Die Erregung der übrigen Lichtröhrchen durch das gleichmässig weisse Licht dieses Blattes wird dabei trotz der krummen Netzhaut auf der durch anderweite Erfahrung bestimmten Ebene gesehen. Ist *BB*, Fig. 14, dies Blatt im Durch-

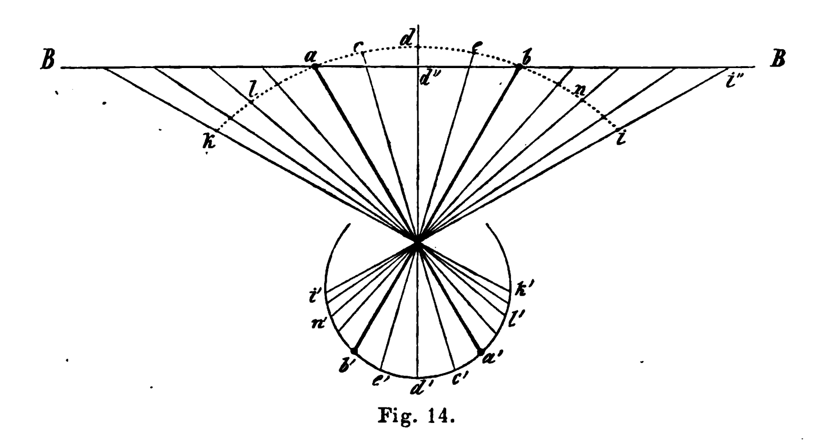


Fig. 14.

schnitt und sind sämmtliche Entfernungen zwischen den gleichen Buchstaben, d. h. zwischen *k* und *k'*, *a* und *a'*, *c* und *c'* etc. gleich gross, so lehrt die Zeichnung die Verschiedenheit der Entfernungen zwischen je einer Netzhautstelle *i' n' b'* .... *k'* einerseits und der ihr entsprechenden Stelle der gesehenen Ebene *BB* andererseits. Z. B. die Entfernung zwischen *i'* und *i''* ist etwa um die Hälfte grösser, als die zwischen *d'* und *d''*. Zugleich ist ersichtlich wie unter sich gleichgrosse Theile der Blattfläche den unter sich verschiedenen Netzhauttheilen entsprechen. Dies Beispiel lehrt den Einfluss der Erfahrung auf die Auslegung erregter Netzhautflächen. Es wird später auf dies Beispiel zurückzukommen sein.

Zeichne ich zwischen *a* und *b*, Fig. 15, *d* und *e* so ein, dass ihre Netzhautbilder in den queren Mittelschnitt und unter sich gleichweit entfernt zu liegen kommen, und betrachte **einäugig** die mittleren Flecke *d* und *e*, so verhalten sich diese beiden ähnlich, wie in der vorigen Zeichnung *a* und *b*. Da nun $d'e' = a'd' = e'b'$, so werde

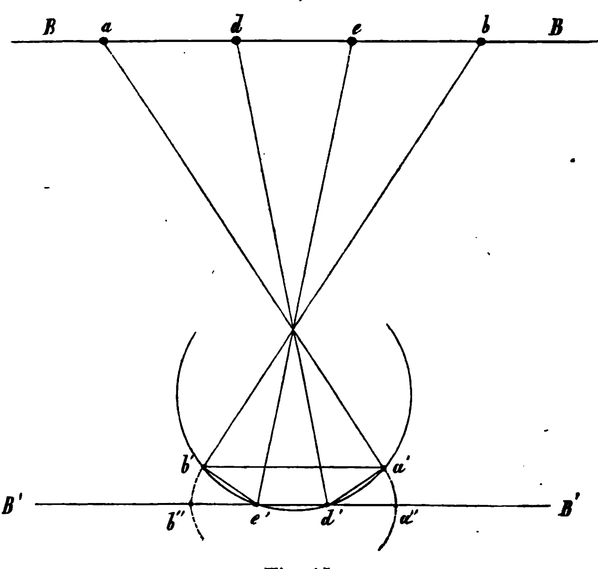


Fig. 15.

ich a links von d, b rechts von e, sämmtlich gleichweit unter sich entfernt, auf der Blattebene sehen müssen; denn nur so lässt sich das gegebene krumme Netzhautbild der Fleckenreihe auf der gegebenen Sehebene so unterbringen, dass jeder Fleck von seinem Nachbar gleichweit entfernt gesehen wird. Die Aehnlichkeit zwischen dem Bilde der krummen Netzhaut und dem Gesehenen geht dabei insofern verloren, als die Flecke in einer Geraden und nicht in einem Bogen, wie die Hautbildchen, erscheinen. — Der Ort der Ebene BB bleibt derselbe, mag ich nur zwei Flecke a und b oder die ganze Reihe $adeb$ sehen. Im ersteren Falle sehe ich die einfache Entfernung $b'a'$, im letzteren dagegen die Entfernung $e'd'$ dreimal nebeneinander. Nun aber muss $b'e' + e'd' + d'a'$ grösser sein als $b'a'$. Die Zeichnung giebt dies Verhältniss durch das Verhältniss von $b'a'$ zu $b''a''$, da $b''a'' =$ dreimal $e'd'$ ist. In der Fig. auf folg. S. wird man mit einem Auge die Entfernung zwischen den oberen Flecken kleiner sehen, als die beiden unteren Reihen, obgleich die wirkliche Entfernung zwischen den beiden oberen Flecken genau so gross ist, als die Entfernung der Endflecke der unteren Reihen. Ich unterscheide die letztere Entfernung als gebrochene, von der ersteren als geraden Entfernung. Die gebrochene Entfernung ist also auf der Sehebene die

Summe ihrer einzelnen geraden Bruchtheile. — Wir haben hier also ein Beispiel, dass die einer Netzhautstelle zukommende Sehrichtung im Interesse des Netzhautbildes ein wenig abgeändert werden kann. Auch ist von vornherein wahrscheinlich, dass das Netzhautbild selbst, als die Hauptgrundlage des Gesehenen, bestimmender auf dasselbe einwirken muss, als die jeder Netzhautstelle gleichsam erst beigegebene Sehrichtung. Wir sehen im beschriebenen Falle Fig. 15, nur d und e in entsprechender Richtung, rechts und links wird dann $e' b'$ und $d' a'$ gleichsam auf die nun einmal gegebene Ebene umgelegt und das Gesehene entspricht dann dem Bilde $b'' e' d' a''$. Weiter unten werde ich zeigen, dass diese dem Auge abgezwungene Abänderung der üblichen Sehrichtungen ihm unbequem ist und dass es, wenn es irgend geht, den Widerspruch zwischen den Raumverhältnissen des Hautbildes und den zugehörigen Sehrichtungen dadurch abhilft, dass es das Netzhautbild trotz der ihm gebotenen eigentlich flachen Zeichnung, in die Tiefe auslegt, wodurch sich die Gleichheit der Raumverhältnisse das Gesehenen mit denen des Hautbildes ohne Störung der Sehrichtungen herstellen lässt.

§. 25.

Biete ich einem Auge das geradseitige Viereck, $aa' \, bb'$ Fig. 17, dar, so bilden sich dessen Seiten auf der krummen Netzhautfläche

nicht als gerade Striche, sondern als Bogen ab, deren Krümmung der Netzhautkrümmung entspricht. Gleichwohl sehe ich seine Seiten gerade, weil sie je in einem Längs- oder Querschnitte und folglich je einer in einer Sehrichtungsebene liegen, und weil ihre Abstände z. B. zwischen *a* und *a'*, *b* und *b'*, *c* und *c'*, *d* und *d'*, überall gleichen Gradbogen angehören und nichts, d. h. keine Merkstelle diese Abstände unterbricht. Ebenso sehe ich den Kreis *abc ... c'd'* Fig. 18

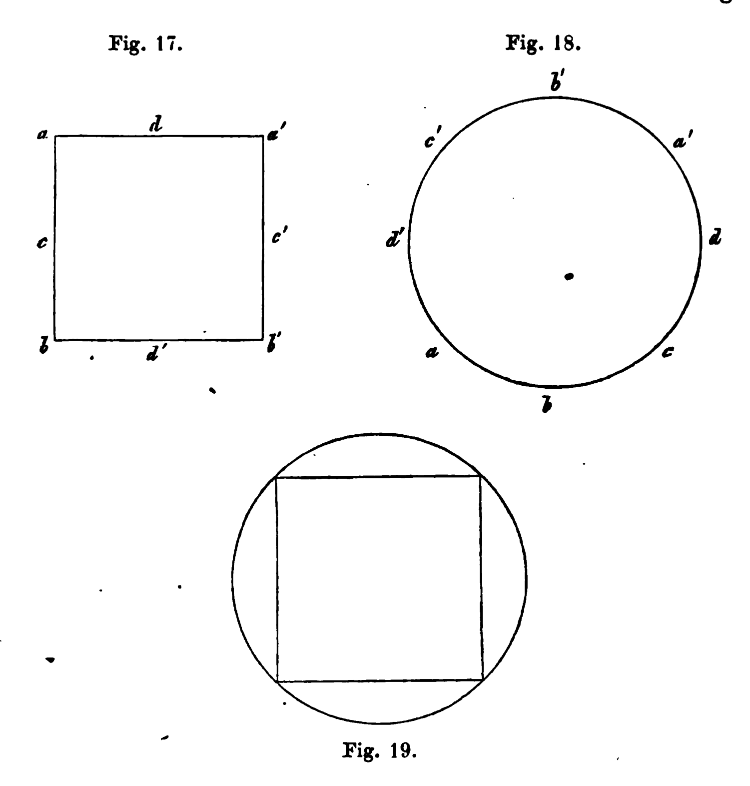


Fig. 17.

Fig. 18.

Fig. 19.

als solchen, weil alle seine Durchmesser *aa'*, *bb'*, *cc'*, *dd'* auch im Netzhautbilde unter sich gleich sind. Vereinige ich dagegen beide Gestalten in einer Zeichnung wie Fig. 19, so sehe ich keinen Kreis mehr, sondern vier Bogen, deren jeder einem kleineren Kreise zugehörig scheint. Der frühere Kreis hat entsprechend den 4 Seiten des Viereckes gleichsam 4 Bäuche bekommen. Die Erklärung ergiebt sich aus dem Vorhergehenden leicht. Ist *BB* Fig. 20 der Durchschnitt der Blattebene, sind *ff'* Durchschnittspunkte des Kreises, *ee'* Durch-

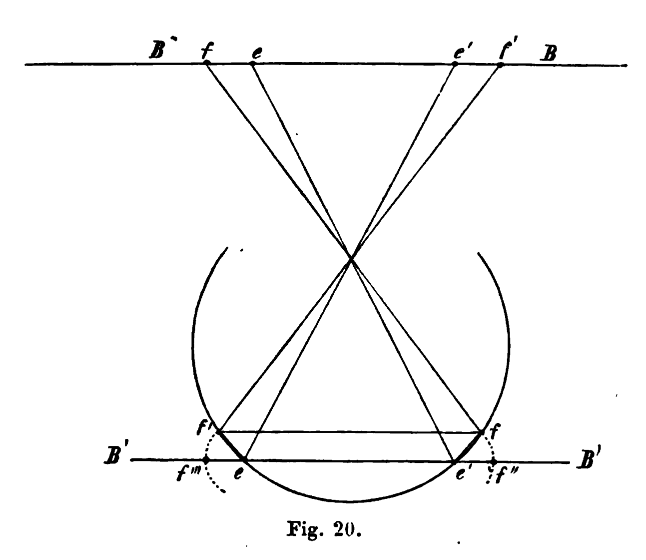


Fig. 20.

schnittspunkte zweier Seiten des Viereckes, so lehrt die Zeichnung, dass wenn das Hautbild des Kreises allein auf der gegebenen Blattebene angebracht werden soll, die je zu f und f' gehörige Sehrichtung, also die gerade Entfernung ff' dabei massgebend ist, während durch Einzeichnung des Viereckes die Entfernung $f'''f''$, welche gleich $ee' + ef' + e'f$ ist, auf der Blattebene gesehen werden muss. Uebrigens fällt dabei auf, dass auch die in Wirklichkeit geraden Seiten des Viereckes schwach einwärts gekrümmt erscheinen, eine Täuschung, die ich im Folgenden erörtere.

§. 26.

Biete ich meinem Einauge den geradseitigen Winkel *acb* Fig. 21 so, dass mein Blick ungefähr senkrecht auf die Blattebene und das Bild einer beliebigen Stelle *s* der Halbirungsrichtung *cN* auf den Kernfleck fällt, so lehrt die Zeichnung die Verhältnissgrösse der Verkürzungen, welche die Entfernungen *bc* und *ab* im Netzhautbilde dadurch erleiden, dass die Netzhautfläche nicht eben, sondern krumm ist. Die Mitte des Kreises *N'* ist so weit von *bc* entfernt, als die Mitte des Kreises *N* von *ab*, und *s* liegt *ab* eben so nahe, als den beiden Schenkeln. *N* und *N'* sind Durchschnitte ein und derselben Netzhaut und nur getrennt gezeichnet, weil sie in verschiedenen Ebenen liegen. *N* nämlich bedeutet den Längsnebenschnitt der Netzhaut, auf dem sich *ab*, *N'* den

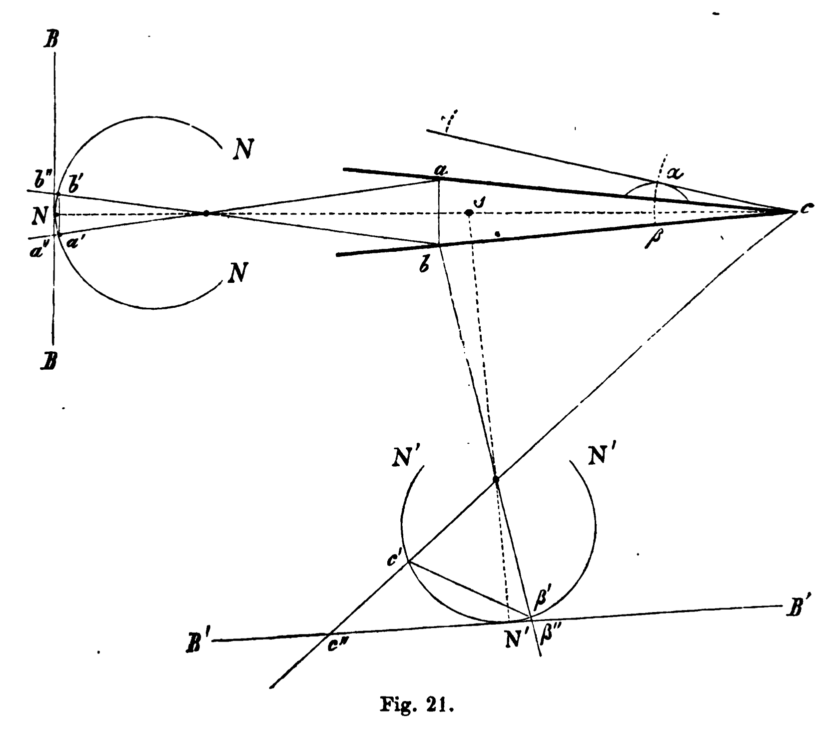


Fig. 21.

schiefen Netzhautschnitt, auf dem sich *bc* abbildet. *s* ist die Kernstelle des Sehraumes. Wäre die Netzhaut eben, wie die Ebenen, deren Durchschnitte mit *BNB* und *B'N'B'* bezeichnet sind, so würde die Entfernung $c''\beta''$ im Vergleich zu *bc* in demselben Verhältnisse verkürzt sein als die Entfernung $b''a''$ im Vergleich zu *ab*. Ist aber die Netzhautfläche gekrümmt wie *N* und *N'*, so ist $b'a'$ im Vergleich zu *ab* verhältnissmässig weniger verkürzt als $c'\beta'$ im Vergleich zu *bc*. — Die Winkelschenkel werden also ungleichmässig verkürzt und zwar der längere stets mehr als der kürzere. Statt des Winkels *acb* erhalte ich in Folge dessen den Winkel $\alpha c \beta$, da $\alpha c = c'\beta'$ und $\alpha\beta = a'b'$ ist. Folglich muss ich den spitzen Winkel *acb* auf der Blattebene zu gross sehen. Dies ist wirklich der Fall wie folgende Beispiele beweisen: *ab* und *cd*, Fig. 22, liegen in derselben Richtung, d. h. *cd* ist die richtige Fortsetzung von *ab*; *c'd'* liegt nur in gleicher, d. i. paralleler Richtung mit *ab* und um das Stück *cc'* näher nach unten hin. Gleichwohl scheint *c'd'* die wahre Fortsetzung von *ab*; da ich nämlich $\angle Aba$ anders sehe als er wirklich ist, also, um es

an folgender Zeichnung Fig. 23 zu versinnlichen, statt <*sba* den Winkel *sba'* sehe, so erwarte ich die Fortsetzung des Striches *ab* in der Richtung *cd'''*. Den oberen Winkel *scd'* Fig. 23 sehe ich ebenso verändert, d. h. statt seiner sehe ich den Winkel *scd''* und es scheint mir daher *cd'* die richtige Fortsetzung von *ab*; *c'd* sehe ich in der Richtung *c'd''* und erwarte seine Fortsetzung in *b'*.*) — Jedes Dreieck, das nicht gleichseitig ist, wird also unter ähnlichen Verhältnissen in einer Gestalt gesehen, die von der wirklichen abweicht. Nur das gleichseitige kann auf der Mitte der Netzhaut, und wenn der Blick senkrecht auf der Blattebene steht, nicht verzerrt werden, weil alle

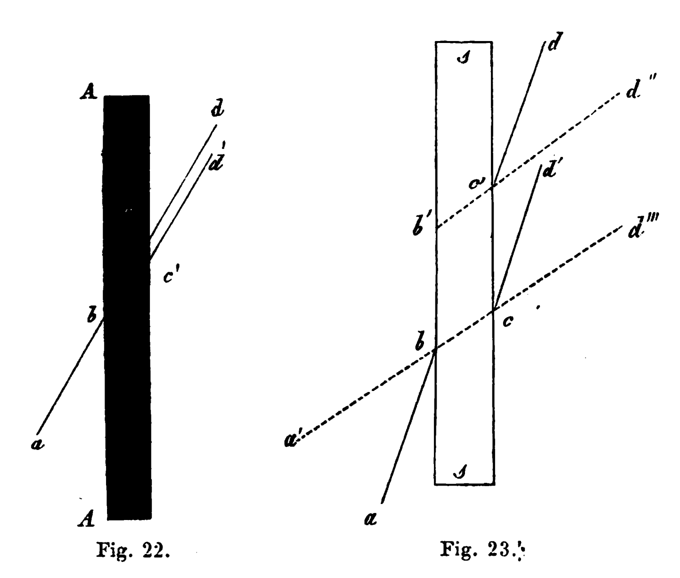


Fig. 22. Fig. 23.

drei Seiten in gleichem Maasse verkürzt werden, das Dreieck ähnlich und die Winkel dieselben bleiben können. Ein Winkel von 60° verhält sich ebenso, wie ein gleichseitiges Dreieck; die Entfernung zwischen zwei entsprechenden Stellen seiner Schenkel wird in demselben Maasse verkürzt, wie die Schenkel selbst und der Winkel deshalb richtig gesehen. Jeder schiefe Winkel unter 60° wird unter solchen Verhältnissen zu gross, jeder über 60° zu klein gesehen, was sich aus dem Gesagten leicht ableiten lässt. Ich gebe noch einige Beispiele: *ab* und *cd* in Fig. 24 sind gerade und

*) Alle derartige Täuschungen sind für ein Auge grösser als für beide.

gleichgerichtete Striche. Durch die schräg auftreffenden Seitenstriche erhält jedoch jedes einzelne Theilstück derselben eine Ablenkung, erscheint mir daher in falscher Richtung, so dass ich nun auch den

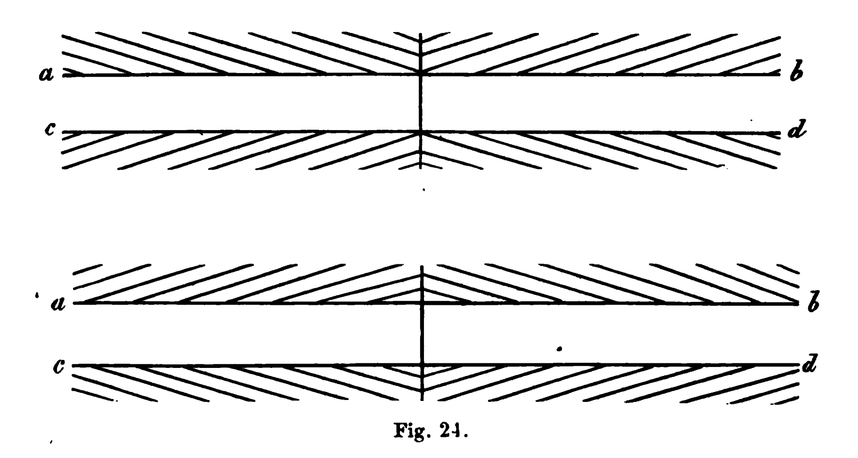


Fig. 24.

ganzen, aus diesen falsch gesehenen Theilen bestehenden Strich in falscher Richtung sehe. — Auch in Fig. 25 sind *ab* und *cd* streng gerade und gleich gerichtete Striche. Sie erscheinen gebogen, weil sie unter verschiedenen Winkeln von den Strahlen des Sternes durch-

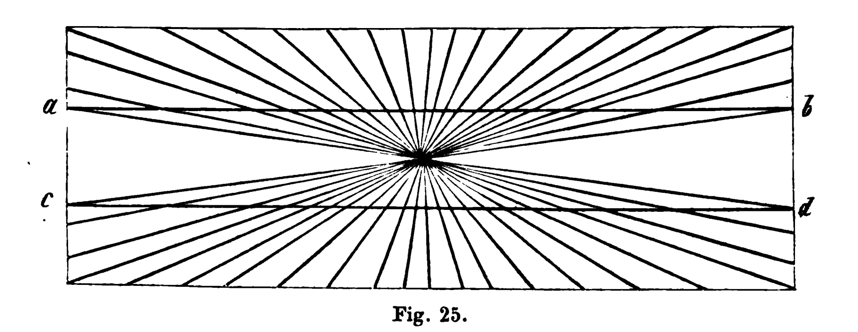


Fig. 25.

schnitten werden und die Ablenkung ihrer Theilstücke eine stetig zunehmende ist, je mehr der Durchschnittswinkel von 60^0 abweicht. — Die Sehne *ab* des Bogens *acb* Fig. 26 erscheint schwach gebogen, weil $\angle cab$ und $\angle cba$ zu gross gesehen werden, sodass sowohl *ac* und *bc* als auch beide Hälften von *ab* eine Ablenkung nach Aussen erfahren müssen. Dieselbe Täuschung gab die Fig. 19, in der die

wirklich geraden Seiten des Viereckes schwach einwärts gebogen erschienen.

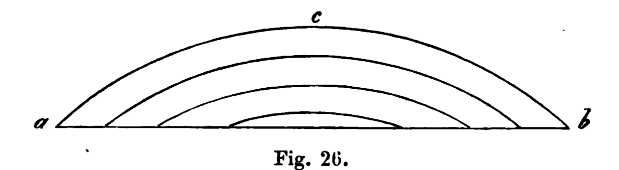


Fig. 26.

Auf Grundlage des Satzes von der Winkeländerung und des Satzes von der gebrochenen Entfernung lassen sich zahlreiche ebene Truggestalten entwickeln. Ich kann von weiterer Ausführung hier um so eher absehen, als Herr Dr. WEISSKE in Leipzig, ausgehend von einer durch ZÖLLNER in Schönweida veröffentlichten, höchst überraschenden ebenen Truggestalt Fig. 27 (POGGENDORFF's Ann. CX. 1860. 7. S. 500 ff.). zahlreiche Beobachtungen über die Täuschungsgrössen ebener Truggestalten gemacht und eine grosse Zahl neuer nach dem Beispiele der ZÖLLNER'schen entworfen hat, deren Veröffentlichung bevorsteht. —

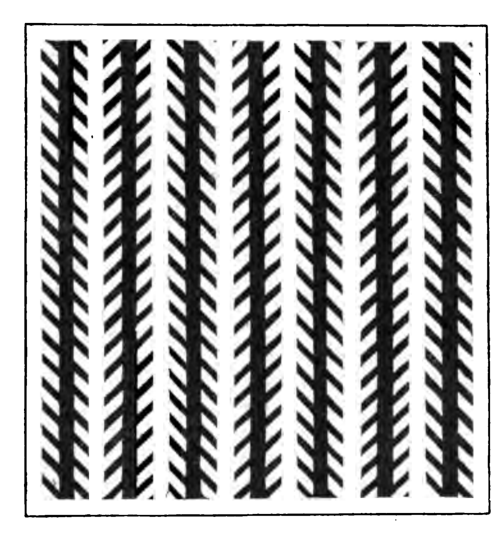


Fig. 27.

ZÖLLNER gab (am a. Orte) für die Scheinverschiebung der Längsstriche des von ihm veröffentlichten Musters eine von der meinigen sehr verschiedene Erklärung. Durchgehends verwechselt er die reine Vorstellung (ich meine die nur innerlich bedingte) mit sinnlicher Anschauung (d. i. sozusagen die zugleich äusserlich bedingte »Vorstellung«). In ähnlicher Weise wirft er die Anschauung des Ruhenden oder Bewegten,

des Gleichgerichteten und Ungleichgerichteten mit der Ueberzeugung von Ruhe oder Bewegung, von Parallelismus oder Divergenz des Sichtbaren zusammen. Die zwangsweise nach Körperdrehungen eintretenden Nachbewegungen sind ihm unbekannt, er sucht für die durch solche Nachbewegungen des Auges bedingten Trugbewegungen der Aussendinge eine sogenannte psychologische Erklärung und wirft mit jenen die Trugbewegungen zusammen, welche nach dauernder Betrachtung gewisser anhaltender Bewegungen des Sichtbaren, z. B. eines Stromes, eintreten. Eine Kritik der Schlussfolgerungen kann ich hier nicht geben. Zur Gesammtwiderlegung diene kurz Folgendes: ZÖLLNER's Erklärung angelt in der Behauptung, dass die sogenannte »Vorstellung des Parallelismus« wegen der Divergenz oder Convergenz der Querstriche nicht aufkommen könne. Ein einfacher Versuch widerlegt diese Ansicht. Man zeichne die Längsstriche einmal von vornherein um einen der Scheinverschiebung entsprechenden, aber entgegengesetzten Winkel verschoben und man wird sie dann parallel sehen. — Das Muster ist übrigens in mehrfacher Beziehung höchst belehrend. Später werde ich wieder auf dasselbe zurückkommen und erwähne hier nur noch Folgendes: Ist die Richtung des einäugigen Blickes auf der Blattebene senkrecht, während letztere in Wirklichkeit z. B. lothrecht steht, so ist die Ablenkung der Längsstriche dann am kleinsten, wenn sie lothrecht oder wagerecht liegen, während dabei die Verschiebung der Querstrichhälften am grössten ist. Umgekehrt ist letztere am kleinsten und erstere am grössten, wenn man die Zeichnung um 45° gedreht hat, so dass nun die eine Hälfte der Querstriche lothrecht, die andre wagerecht liegt. Die Erklärung dieser Thatsache gehört nicht hierher. Legt man die Zeichnung aus der zuerst angegebnen lothrechten Lage bei unveränderter Blickrichtung nach hinten oder vorn um, so nimmt die Ablenkung der Längsstriche und die Verschiebung der Querstrichhälften mit wachsender Näherung an die wagerechte Lage des Blattes ab und verschwindet endlich ganz. Umgekehrt wachsen beide mit zunehmender Neigung des Blattes, wenn man die lothrecht aber mit wagerechten Längsstrichen vorgehaltene Zeichnung langsam umlegt, so dass der Blick unter zunehmend schiefem Winkel auffällt. Das erklärt sich leicht aus dem oben Gegebnen. Bei der ersten Art der Neigung des Blattes erscheint die Zeichnung in der Richtung der Längsstriche verkürzt, wodurch die Kreuzungswinkel der Striche im Netzhautbilde grösser und endlich fast gleich einem Rechten werden. Zwei sich rechtwinklig kreuzende Striche aber können keine Scheinverschiebung gegen einander erleiden. Jedes schiefwinklige Kreuz aber muss verschoben werden, selbst in dem besonderen Falle einer gegenseitigen Neigung der beiden Striche von 60°. Denn obgleich dabei die Winkel von 60° keine Veranlassung zur Verschiebung geben, so doch ihre Nebenwinkel von 120°. Allgemein kann man daher sagen, dass die Ablenkung der Längsstriche wie die Verschiebung der Querstriche abnehmen muss, je näher der Kreuzungswinkel dem Rechten kommt. Umgekehrt wird im Allgemeinen die zunehmende gegenseitige Neigung der sich schneidenden Striche die Täuschung vergrössern müs-

sen, wie dies bei der zweiterwähnten Drehung der Fall ist. Denn hierbei wird die Zeichnung in einer auf den Längsstrichen rechtwinkligen Richtung verkürzt, wobei die Kreuzungswinkel der Striche im Netzhautbilde immer schiefer werden. Bei starker Verkürzung in dieser Richtung nimmt übrigens die Scheinverschiebung der Längsstriche wieder ab, weil dieselben sich so verschmälern, dass sie von den deutlicheren Querstrichen gleichsam erdrückt werden und daher an Uebersichtlichkeit verlieren.

§. 27.

Ueber eine bestimmte Entfernung hinaus gelegene Dinge müssen beiden Augen, falls diese selbst gleich sind, gleiche Netzhautbilder geben. Wenn solche Dinge körperhaft gesehen werden, so kann dies also nicht auf der Verschiedenheit der beiden Netzhautbilder beruhen. Sehe ich vor dem blauen Grunde des Himmels die geballten und gethürmten Massen der Haufenwolken in deutlicher und sehr ausgearbeiteter Körperhaftigkeit, so ist dies die Folge der eben so ausgearbeiteten Vertheilung von Licht und Schatten. Denn da ich jene Wolken weder betasten noch umschreiten und von verschiedenen Seiten betrachten kann, so gründet sich meine Anschauung ihrer Körperhaftigkeit, kurz mein Tiefsehen, nur auf das eine Netzhautbild, welches sie mir erzeugen. Ebenso verhält es sich mit dem Tiefsehen ferner Gebirge, deren Körperhaftigkeit um so mehr ins Auge springt, je klarer die Luft und je entschiedener die Sonnenstellung einem schroffen Wechsel von Licht und Schatten günstig ist. Viele ferne Dinge sehe ich, abgesehen von den Raumverhältnissen ihres Hautbildes, auf Grundlage früherer Erfahrungen körperhaft, mehr oder weniger durch die Art der Beleuchtung unterstützt. Was in Betreff jener fernen Dinge für doppeläugiges und einäugiges Sehen gemeinschaftlich gilt, lässt sich in Betreff näherer Dinge nur auf das einäugige Sehen übertragen. Betrachte ich einen näheren Körper zuerst doppeläugig und schliesse dann ein Auge, so sehe ich ihn nichts destoweniger noch immer körperhaft nur mit dem Unterschiede, dass ich weniger von ihm sehe, weil das verschwindet, was zuvor nur dem jetzt geschlossenen Auge sichtbar war. Auch das einäugige Tiefsehen gründet sich auf die Vertheilung von Licht und Schatten, auf frühere Erfahrungen und auf die räumlichen Verhältnisse des Netzhautbildes. In meinem mir in allen Theilen bekannten Zimmer sehe ich einäugig Alles in deutlichster Körperhaftigkeit.

Es ist sehr fesselnd, zuzusehen wie z. B. das Gepräge sehr zerklüfteter und kahler Gebirgsmassen zusammensinkt, wenn die Sonne sich der Mittagshöhe nähert und Höhen und Tiefen gleichmässig beleuchtet. Besonders im Süden, wo die Klarheit der Luft dem Auge die Einzelheiten ferner Gebirge in überraschender Weise zugänglich macht, steigt und fällt das Relief je nach dem Stande der Sonne, je nach der Klarheit und Trübe der Luft. Es ist mir wichtig, solche nur durch ein Netzhautbild oder durch zwei gleiche Netzhautbilder erzeugte Eindringlichkeit des Tiefensehens besonders zu betonen. Die Entschiedenheit, mit der wir auf Grundlage der erwähnten drei Bedingungen auch mit nur einem Auge tief sehen, ist sehr gross, wenngleich nicht so wie die des zweiäugigen Tiefsehens.

§. 28.

Wie schon mehrfach angedeutet giebt es beim einäugigen Sehen ausser den Lichtverschiedenheiten und der Erfahrung einen in den Raumverhältnissen des Netzhautbildes liegenden Anhalt für das Tiefsehen. Vielen fällt an dem beschriebenen Zöllner'schen Muster die eigenthümliche Unruhe auf, in der sich das Auge bei Betrachtung desselben zu befinden scheint. Diese Unruhe ist darin begründet, dass in dem entsprechenden Netzhautbilde neben dem Zwange zur Täuschung doch auch eine nie ruhende Aufforderung zum Richtigsehen liegt. Die Längsstriche drängen sich mir gewissermassen immer von Neuem als gleichgerichtet auf, da ihre Netzhautbilder in ihren Lagenverhältnissen dieselben bleiben, mögen die Querstriche da sein oder fehlen. Letztere aber drängen die Längsstriche Stück für Stück immer wieder aus der wirklichen Richtung. Indem meine Aufmerksamkeit bald diesem bald jenem Antriebe mehr gehorcht, ohne doch jemals einem auf Kosten des anderen dauernd nachgeben zu können, befindet sie sich in jener eigenthümlichen Unruhe, wie sie z. B. der Wettstreit der Sehfelder, sei es in Bezug auf Farben oder auf Gestalten, in ganz ähnlicher Weise erzeugt. Der erwähnte innere Widerspruch mancher der angeführten Scheingestalten lässt sich nun dadurch heben, dass ich dieselben tief sehe. Denn da es meiner Behauptung nach beim Raumsehen zunächst darauf ankommt, dass die einäugig gesehenen Raumverhältnisse einer in sich zusammenhängenden Gestalt dieselben sind, wie auf der Netzhaut, so genügt es zur Herstellung dieser Uebereinstimmung, z. B. in Fig. 28 das Ende *d* des Querstrichs aus der Ebene dieses Blattes so nach hin-

ten oder vorn zu schieben, dass es in der ihm zugehörigen Sehrichtung bleibt, wodurch ebensowohl der Schneidungswinkel zwischen Längs- und Schiefstrich grösser, als auch der Strich *c d* kürzer, und also den Anforderungen des Netzhautbildes genügt wird. Der Strich *c d* wird dann kurz gesagt in der Grösse und Lage gesehen, welche, wenn sie wirklich wäre, dieselben Raumverhältnisse des Netzhautbildes geben würde, als die ebene Zeichnung. Bringe ich letztere auf einer recht klaren Glasplatte an, welche, halb unsichtbar, das Sehbild nicht so an sich fesselt, wie das undurchsichtige Blatt, das eine Auslegung auf seiner Ebene verlangt, und halte ich jene Zeichnung gegen den hellen Himmel, so sehe ich bei Schluss eines Auges mit dem andern in überraschender Weise ein körperhaftes Bild. Der dicke Strich liegt in der Glasebene, das Ende *d* des Querstriches dahinter und *c* davor oder beide vorn oder beide hinten, was hier Alles gleichwerthig ist und theils von Nebenumständen, theils von meiner Willkühr abhängt.

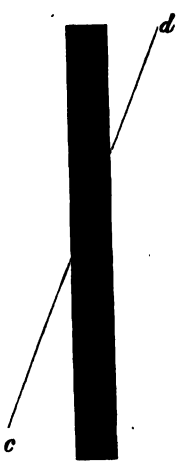


Fig. 28.

Bedenkt man nun, wie uns im täglichen Leben fast alle rechten Winkel, auf die wir ja Alles zu beziehen pflegen, in der Verkürzung theils als spitze, theils als stumpfe erscheinen, so sieht man ein, wie wichtig das beschriebene Verhältniss des Netzhautbildes für das Tiefsehen sein muss. Die Winkel unter 60° werden im Allgemeinen grösser, die über 60° kleiner, beide also dem Rechten näherkommend gesehen, deshalb ihre Schenkel aus der Sehfläche nach hinten oder vorn, je nach der grössern Wahrscheinlichkeit und meist im Sinne der Wirklichkeit verschoben. Dadurch wird z. B. ein Würfel schon für ein Auge bis zu einem gewissen Grade zum stereoskopischen Bilde, ganz abgesehen von der Erfahrung und der Art der Beleuchtung. Wie weit diese einäugige Stereoskopie sich mit der doppeläugigen verknüpft, will ich anderswo besprechen.

Schon ehe ich diesen Grund für einäugiges Tiefsehen gefunden hatte, fiel mir an dem ZÖLLNER'schen Muster auf, dass bei gewissen Lagen der Zeichnung zum Auge, deren Erörterung ich hier übergehe, die Querstriche mit ihren Enden die Blattebene verliessen, ohne dass ich willkührlich diese Auslegung des Netzhautbildes hervorgerufen hatte. Ebenso bemerkte ich, dass auch die Längsstriche aus der Blattebene

herausträten, so dass die Längsstrichenden einer Seite abwechselnd höher und tiefer lagen. Dann erschienen die Striche in zwei sich unter bestimmtem Winkel durchschneidenden Ebenen und zwar so, dass wenn ein Strich in der einen, seine zwei Nachbarn in der andern Ebene lagen, also in abwechselnd verschiedener Richtung. Die beiden Ebenen schienen in einer auf die Längsstriche senkrechten Richtung sich bald an einem Rande des Musters, bald in der Mitte, bald irgendwo dazwischen zu durchschneiden, je nachdem ich hierhin oder dorthin sah. Dieser in dem ZÖLLNER'schen Muster gegebene Anlass zum Tiefsehen erklärt sich nun ebenfalls. Denn wie in der oben gesehenen Scheingestalt ebensowohl die Längsstriche als die Querstriche verschoben waren, so wird die vorhin an den Querstrichen geschilderte Auslegung des Netzhautbildes in die Tiefe nun auch auf die Längsstriche übertragen werden können. Statt in der Ebene verschoben zu scheinen, erscheinen sie mir, wenn ich sie auf eine klare Glasplatte zeichne, aus der Ebene verschoben in der Lage, bei welcher sie in Wirklichkeit dasselbe Netzhautbild geben würden. Ich nannte die Ebene, in welcher sämmtliche den einzelnen Stellen eines Längsstriches entsprechende Sehrichtungen gelegen sind, die Sehrichtungsebene des Striches; es bleiben also in der körperhaften Trugfigur sämmtliche Striche in ihren Sehrichtungsebenen und mein Auge findet nun bei dieser Art der Auslegung des Bildes Beruhigung. Es ist zugleich ersichtlich, dass nun auch die gebrochene Entfernung im Netzhautbilde eines Längsstriches entsprechend lang der Summe ihrer von Querstrich zu Querstrich gelegenen Bruchstücke gesehen wird, indem der, aus z. B. lothrechter Glasebene geschobne aber in der Sehrichtungsebene gebliebene Strich nicht mehr lothrecht und daher nun länger gesehen werden kann, nehmlich als ein wirklich gegen die Glasebene geneigter Strich, dessen schräg verkürztes Netzhautbild so gross sein würde, wie das von dem Längsstriche des Musters ohne Schrägverkürzung erzeugte. Kurzum der innere Widerspruch der ebenen Scheingestalt wird durch ihre auf der durchsichtigen Glasplatte leichter mögliche körperhafte Erscheinung aufgehoben und ebensowohl dem Satze von der Winkeländerung als dem von der gebrochnen Entfernung genug gethan. Benutzt man statt der Zeichnung z. B. Stricknadeln als Längsstriche und klebt ihnen z. B. Zündhölzchen, den Querstrichen entsprechend auf, steckt die Nadeln parallel auf ein Fensterbret, so dass sie nebst allen Hölzchen in einer Ebene liegen, und betrachtet sie gegen den Hintergrund des hellen Himmels, so ist der stereoskopische Eindruck noch lebhafter, besonders wenn der Blick schräg von der Seite und von unten kommt. Doch soll auch dieser Versuch vorzugsweise nur mit einem Auge gemacht werden.

Druck von Breitkopf und Härtel in Leipzig.

BEITRÄGE

ZUR

PHYSIOLOGIE.

VON

EWALD HERING,

DR. MED. PRIVATDOCENT DER PHYSIOLOGIE.

ZWEITES HEFT:

VON DEN IDENTISCHEN NETZHAUTSTELLEN.

MIT 38 HOLZSCHNITTEN.

LEIPZIG,

VERLAG VON WILHELM ENGELMANN.

1862.

VORWORT.

Im ersten Hefte dieser Beiträge habe ich einige Verhältnisse des ein- und doppeläugigen Sehens in allgemeinen Umrissen und rein schematisch dargestellt. Einige beigegebene einfache Versuche zeigten zugleich, inwiefern die Wirklichkeit den gesetzten idealen Verhältnissen nahe komme. In diesem zweiten Hefte wende ich mich zur besonderen Besprechung der dort schon beiläufig behandelten Identitätsfrage, nicht um neue Beweise für eine, wie mir scheint, hinreichend gestützte Lehre zu bringen, sondern lediglich in der Absicht, die gegen dieselbe vorgebrachten Gründe zu untersuchen. Auffälligerweise neigt sich die neuere Ophthalmologie mehr und mehr zur Opposition gegen die Identitätslehre. Nicht nur haben zwei jüngere Forscher sich in umfassenden und eingehenden Arbeiten mit voller Entschiedenheit gegen dieselbe ausgesprochen, sondern auch frühere bewährte Anhänger werden neuerdings abtrünnig; Viele endlich stellen die Lehre in einer Weise dar, die von ihrem eigentlichen Wesen nur den Schatten übriglässt. Da mich gleichwohl Theorie und Experiment zur Ueberzeugung gebracht haben, dass die Identitätslehre die allein erspriessliche Grundlage für eine Theorie der räumlichen Gesichtswahrnehmungen ist, so habe ich die angeblichen »schlagenden Gegenbeweise« mit Ausführlichkeit behandelt. Ebenso habe ich die Theorie der binoculären Projection der Netzhautbilder nach der Richtung der Richtungslinien, kurz gesagt die Projectionstheorie, überhaupt die Einführung der Richtungslinien als Sehrichtungen einer eingehenden Kritik darum unterzogen, weil sie mir als die Hauptquelle zahlreicher Irrthümer erscheint. Denn fast alle jetzigen Anhänger der Identitätslehre nehmen unbedenklich auch ein Sehen nach den Richtungslinien an und suchen mithin zwei von Grund aus unverträgliche Theorien zu vereinigen. Endlich habe ich noch Einiges zum Verständnisse der Sehrichtungen hinzugefügt. Da das Wesen derselben nur einer metaphysischen Untersuchung zugänglich ist, so habe ich mich hier vorläufig ganz auf der Oberfläche des Gegenstands gehalten. —

Während des Druckes erhielt ich durch die Güte des Herrn Alex. Prévost sein Essai sur la théorie de la vision binoculaire

(Genève 1843), das ich nur in Betreff der vom Verfasser zuerst betonten vertikalen Horopterlinie von einigen Autoren citirt gefunden hatte. Ich lernte in dieser vortrefflichen Abhandlung eine Darstellung der Identitätslehre kennen, welche weit über das von JOH. MÜLLER Gegebene hinausgeht und dasselbe sehr glücklich ergänzt. Was insbesondere die Sehrichtungen betrifft, so hat zwar der Verfasser nirgends betont, dass Sehrichtungen und Richtungslinien völlig incommensurabel sind, vielmehr citirt er ohne weitere Kritik den folgenden Satz von P. PRÉVOST: »tout point lumineux est vu dans la direction du rayon, qui passe par le centre de l'oeil« und nennt diesen Strahl »rayon visuel«: dagegen aber hat er sich bei Erörterung der Doppelbilder sehr glücklich von solcher Vermengung der Identitätslehre mit der Richtungslinienhypothese freigehalten und giebt eine Theorie des Einfachsehens und der Doppelbilder, welche er in allen Einzelheiten folgerecht aus der Identitätslehre ableitet, wie ich dies ebenfalls in §§ 13 — 22 des ersten Heftes versucht habe. Wenn auch PRÉVOST die einfache Sehrichtung der identischen Punkte nicht so betont, wie ich es gethan habe, so ist ihm dieselbe doch sehr wohl bewusst; zum Beweise diene die Fig 4. pl. 1. und folgender Satz (p. 18): »Dans le cas, où les divers points de la ligne située dans le plan des axes, sont à des distances très-différentes de l'observateur, ce sont des points très-éloignés les uns les autres, qui paraissent aux deux yeux dans la même direction. On comprend qu'alors on ne verra pas coïncider ces points deux à deux et que la ligne devra paraître double.« Auch in Bezug auf den WHEATSTONE'schen Versuch, welchen ich in §§ 29 — 40. erörtert habe, hat PRÉVOST, wie mir scheint, im Wesentlichen das Richtige getroffen. Wenn ich nun auch in einigen Einzelheiten nicht mit dem Autor übereinstimme, insbesondre einen Hinweis auf das metaphysische Wesen der Sehrichtungen vermisse und es unzweckmässig finde, dass die Fig. 4. pl. 1. den Irrthum begünstigt, als würden die verkehrten Netzhautbilder durch Projection wieder aufrecht: so bekenne ich mich doch im Uebrigen einverstanden und bedaure nur, dass ich nicht schon im ersten Hefte jene vorzügliche Abhandlung zur Stütze meiner eigenen Ansichten anführen konnte.

Leipzig, im May 1862.

Der Verfasser.

INHALT.

Der Wheatstone'sche Versuch.

§. 29.

Der bekannte und vielbesprochene Versuch, durch welchen WHEATSTONE das Doppeltsehen mit identischen Netzhautstellen als möglich erwiesen zu haben glaubte, ist in der deutschen Uebersetzung (POGGENDORFF's Annal. d. Phys. Ergänzungsband 1842 S. 30) folgendermassen beschrieben:

»Wird dem rechten Auge eine vertikale und dem linken eine von der Senkrechtheit etwas abweichende Linie in dem Stereoskope dargeboten, so sieht man eine Linie, deren Extremitäten sich in verschiedenen Entfernungen vor den Augen zu befinden scheinen. Es werde nun auf das Blatt für das linke Auge in der Mitte der schon vorhandenen und geneigten Linie eine schwächere und vertikale gezogen, welche der auf dem Blatte für das rechte Auge befindlichen Linie in Stellung und Länge genau entspricht. Betrachtet man jetzt die beiden Blätter im Stereoskope, so werden die beiden stärkeren Linien, von denen jede mit einem Auge gesehen wird, sich decken und die daraus resultirende einfache Linie wird in derselben perspectiven Linie erscheinen, als es vorher der Fall war; die schwache Linie aber, welche auf Nervenhautpunkte des linken Auges fällt, welche mit denen des rechten correspondiren, auf welchen sich die starke vertikale Linie darstellt, erscheint an einem verschiedenen Orte. Sie nimmt nehmlich den Ort ein, wo sich die Ebene der Richtung des Sehens für das linke Auge, in welchem sich die schwache Linie darstellt, mit der Ebene der Richtung des Sehens für das rechte Auge, welches die starke Linie enthält, durchschneidet.«

Was zunächst die von VOLKMANN (Die stereosk. Erschein. in ihrer Bezieh. zu d. Lehre von d. ident. Netzhautstellen. Arch. für Ophthalmol. V. 2, 1859) hervorgehobene Unklarheit des letzten Theils dieser Beschreibung betrifft, so wird dieselbe vollständig gehoben, wenn man der Annahme NAGEL's (Das Sehen mit zwei Augen S. 79) beitritt, dass unter Ebene der Richtung des Sehens die Ebene des vertikalen Netzhautmeridians zu verstehen sei,

auf welchem die vertikale Linie sich abbildet. Die Stelle wäre dann so aufzufassen: die schwache vertikale Linie fällt auf Nervenpunkte des linken Auges, die mit denjenigen Nervenpunkten des rechten Auges correspondiren, auf welchen sich die starke vertikale Linie darstellt; gleichwohl erscheint das Bild der schwachen Linie an einem andern Orte, als das der starken. Während nämlich die letztere, stereoskopisch mit der schrägen Linie des rechten Auges verschmolzen, aus der Ebene des Papiers heraustritt, erscheint die schwache Linie da, wo die Meridianebene ihres rechtsäugigen Bildes sich mit der Meridianebene des linksäugigen Bildes schneidet.

Betreffs der Polemik VOLKMANN's gegen den WHEATSTONE'schen Versuch ist hervorzuheben, dass dieselbe im Grunde gegen BRÜCKE's Auffassung desselben (MÜLLER's Arch. 1841. S. 459) und nicht gegen WHEATSTONE gerichtet ist; dass vielmehr VOLKMANN selbst die Angabe des letzteren bestätigt, indem er sagt:

> »Fügt man zu den beiden starken Linien die dritte schwache ebenfalls vertikale, so ist zwar richtig, dass die beiden starken nach wie vor sich decken können, während die dritte isolirt bleibt, aber es ist diese Form des Sammelbildes nicht die ausschliesslich mögliche. Vielmehr können auch die beiden Vertikalen von ungleicher Stärke sich decken, und die starke schiefe isolirt auftreten.«

Damit ist also WHEATSTONE's Angabe bestätigt, nur mit dem Zusatze, dass sie nicht für alle Fälle ausreiche.

Die Polemik VOLKMANN's richtet sich gegen die Behauptung BRÜCKE's, dass der schwache Vertikalstrich bei der stereoskopischen Verschmelzung nicht in seiner ursprünglichen Lage gesehen werden könne, sondern eine Ortsveränderung erleiden müsse, und zwar eine solche, die der Ortsveränderung des sie schneidenden starken Striches analog sei. WHEATSTONE hatte dies nicht behauptet; die BRÜCKE'sche Auffassung lag ihm überhaupt fern und VOLKMANN's Einwände sind also nicht auf WHEATSTONE sondern auf BRÜCKE zu beziehen. Darum lasse ich dieselben hier ganz unberührt, indem ich mich der Ansicht NAGEL's und WUNDT's (Beitr. zur Theorie der Sinneswahrn. IV. Zeitschr. f. rat. Med. XII. S. 227) anschliesse, dass die Hauptfrage von VOLKMANN nicht erledigt worden ist. Wenn aber der Versuch WHEATSTONE's auch nur ein einziges Mal so deutlich und so andauernd gelingt, dass eine Täuschung über die eigene Wahrnehmung ausgeschlossen ist, so wäre damit allerdings der Satz, dass wir mit identi-

schen Stellen doppelt sehen können, bewiesen; vorausgesetzt, dass die vertikalen Striche sich wirklich auf identischen Netzhautstellen abgebildet haben.

Da nun neuerdings auch WUNDT und NAGEL in dem WHEATSTONE'schen Versuch einen Beweis gegen die Identität der Netzhautstellen finden, so ist eine ausführliche Analyse des Versuchs um so mehr gerechtfertigt. Ehe ich dieselbe gebe, schicke ich einiges Vorbereitende voraus.

§. 30.

Will man wissen, wie zwei ebene incongruente Zeichnungen stereoskopisch erscheinen werden, so hat man zuerst zu bedenken, wie ein wirklich körperhaftes Ding gestaltet sein müsste, um jedem Auge dasselbe Netzhautbild zu geben, welches die ebenen Zeichnungen erzeugen. Ebenso wie uns ein solches Ding erscheinen würde, erscheint uns im Allgemeinen die stereoskopische Gestalt aus den beiden Zeichnungen. Die scheinbare Grösse und Entfernung des Gesehenen, als zunächst unwesentlich, berücksichtige ich hierbei nicht. Dieselbe hängt nicht lediglich von der Augenstellung als solcher, sondern z. B. auch von der scheinbaren Entfernung des Papiers, welches die Zeichnungen trägt, oder von andern Wahrscheinlichkeitsgründen ab, welche dem Netzhautbilde selbst und der Erfahrung im weitesten Sinne des Worts entlehnt sind. Das ausgesprochene Gesetz reicht selbstverständlich nicht für die Fälle aus, bei welchen von ebenen Zeichnungen solche Netzhautbilder erzeugt werden, wie sie in der Wirklichkeit nicht vorkommen können. Ferner erfordert es einen Zusatz bei solchen Zeichnungen, die eine mehrfache Auslegung zulassen. Für diese Fälle wird stets das gesehen, was in der Erfahrung die meiste Analogie für sich hat. Es ist jedoch nicht immer möglich, den Effect im Voraus zu bestimmen, denn es hängt derselbe sehr oft von nicht zu berechnenden Nebenumständen ab. Hierfür ein Beispiel*): Biete ich dem linken Auge einen einfachen Vertikalstrich, dem rechten zwei parallele Vertikalstriche, deren Abstand von einander sehr klein ist, so bekomme ich auffallend leicht den Eindruck, als lägen die beiden Vertikalen

*) Vergl. PANUM, über das Sehen mit zwei Augen S. 76.

des vereinigten Bildes in einer vertikalen Ebene, welche durch die Blickrichtung (Gesichtslinie) des linken Auges geht. Unter solchen Umständen nehmlich würde in der Wirklichkeit von dem vorderen Striche der hintere für's linke Auge verdeckt werden, und nur das rechte Auge würde beide Striche sehen. Man vereinige die beiden Bilder Fig. 29 durch Kreuzung der Blickrichtungen vor dem Papiere, und man wird leicht den beschriebenen Eindruck erhalten.

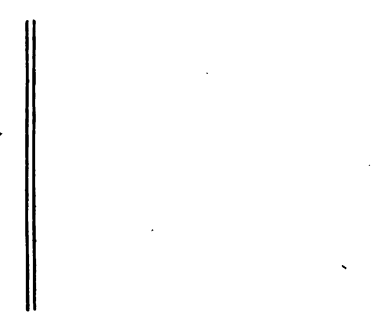


Fig. 29.

Vergrössert man nun aber die Distanz der beiden Parallelen, so wird der beschriebene Eindruck nicht mehr möglich, weil dann der innere (rechte) Strich des Paares sehr weit hinausgerückt erscheinen müsste, was durch die sonstigen Verhältnisse des Gesammtnetzhautbildes verhindert wird. Denn dieselben fordern dazu auf, beide Striche des Paares in annähernd gleicher Entfernung, d. h. auf dem Papiere zu sehen. Auf einer gegen das Licht gehaltenen Glasplatte dagegen, welche das Bild gleichsam nicht so an sich fesselt, darf man dem Strichpaare eine stärkere Distanz geben, ohne dadurch den stereoskopischen Eindruck zu vereiteln.

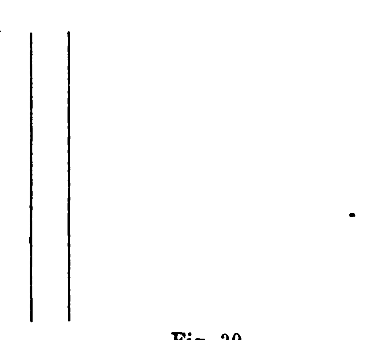


Fig. 30.

Man muss bei diesem Versuche darauf achten, dass die beiden zu verschmelzenden Striche sich auch wirklich auf den »vertikalen Trennungslinien« abbilden, also identische Stellen treffen. Geschieht dies nicht, sondern liegen die Bilder nur auf dem fixirten Punkte identisch, sonst aber auf differenten Stellen, so erhält man ein Verschmelzungsbild, welches gegen die andere einfach gesehene Linie verschoben erscheint. Man prüft die Lage der Netzhautbilder einfach dadurch, dass man beim Uebereinanderschieben der Doppelbilder kurz vor ihrer Verschmelzung beachtet, ob sie parallel erscheinen; ist dies der Fall, so werden sie bei der Verschmelzung auch auf identischen Stellen liegen.

Weil es nun leichter ist, diese Controle bei Kreuzung der Augenaxen vor den Objecten vorzunehmen, als bei parallelen oder nahezu parallelen Augenaxen, und weil letzternfalls in Folge unwillkührlicher Accommodation für die Ferne die Objecte undeutlich werden, alle Gläser und Instrumente aber womöglich zu vermeiden sind; so ziehe ich es vor, diese einfachen stereoskopischen Bilder stets durch Erzeugung ungekreuzter (gleichnamiger) Doppelbilder d. h. durch Kreuzung der Augenaxen vor dem Papiere herzustellen. Dazu kommt, dass es den Meisten leicht fällt, die Augenaxen beliebig convergent zu stellen, während sie dieselben nur schwer parallel zu stellen vermögen, sobald sich das Beobachtungsobject in der Nähe befindet.

Ich habe den obigen Versuch auch deshalb angeführt, weil er ein stereoskopisches Bild giebt, ohne dass different gelegene Netzhautbilder dabei verschmolzen würden; die beiden zu verschmelzenden Strichbilder liegen vielmehr, wenn der Versuch richtig angestellt wird, auf genau identischen Stellen.

§. 31.

Als Vorbereitung für den WHEATSTONE'schen Versuch führe ich noch einige Grundversuche an:

Biete ich dem linken Auge einen feinen Vertikalstrich (Fig. 31), dem rechten einen, dem ersten parallelen aber stärkeren, so erscheint



Fig. 31.

mir bei vorn gekreuzten Blickrichtungen ihr vereinigtes Bild wie ein auf der hohen Kante stehendes, sehr dünnes Leistchen oder Band; es scheint dasselbe in der vertikalen Ebene zu liegen, welche durch die Blickrichtung des linken Auges geht. Ein in Wirklichkeit so gelegenes Leistchen würde dem linken Auge die hohe Kante zukehren, dem rechten die Breitseite.

Zwei nach oben convergirende Striche (Fig. 32) erscheinen, bei Kreuzung der Blickrichtungen vor dem Papiere, nicht in der Ebene desselben, sondern das untre Ende ihres verschmolzenen Bildes liegt dem Gesichte näher, als das obere. Ein ähnlich gelegener wirklicher Stab würde bei derselben Augenstellung ebenso gelegene Netzhautbilder geben, wie Fig. 32 giebt.

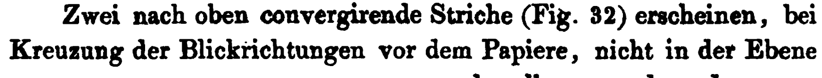


Fig. 32.

Biete ich dem rechten Auge einen geraden vertikalen Strich, dem linken einen gebrochenen, wie in Fig. 34, so sehe ich bei vorn gekreuzten Blickrichtungen einen stumpfen Winkel, der sich

Fig. 33.

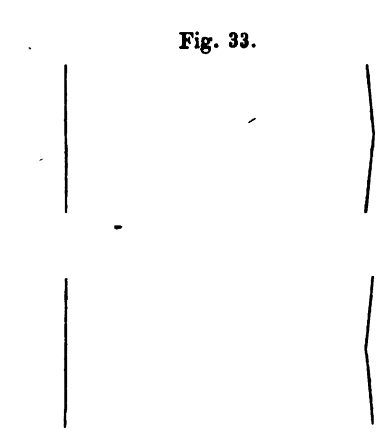


Fig. 34.

gerade gegen mein rechtes Auge öffnet. Läge ein wirklicher Winkel ebenso, dann würden seine Schenkel dem rechten Auge in ihrer Verkürzung dasselbe Bild geben, wie es der gerade Strich in Fig. 34 thut. Fig. 33 macht den umgekehrten Eindruck.

Diese einfachen Versuche reichen hin, um sich im Voraus den stereoskopischen Eindruck abzuleiten, den die Wheatstone'sche Figur machen muss.

§. 32.

Biete ich dem linken Auge ein sehr schiefwinkliges Kreuz, dem rechten einen einfachen Strich, wie in Fig. 35, so lässt sich von vornherein erwarten, dass ich bei stereoskopischer Verschmelzung ein aus der Ebene des Papiers heraustretendes Kreuz sehen werde, welches



Fig. 35.

in einer, durch die Blickrichtung des rechten Auges gelegten vertikalen Ebene zu stehen scheint. Von einem wirklichen, in dieser Ebene stehenden Kreuze würde nehmlich das rechte Auge nur die beiden Schenkel des ihm zugewendeten stumpfen Winkels sehen können, während ihm die beiden hintern Schenkel von den vordern verdeckt würden. Die beiden sichtbaren vorderen Schenkel aber würden sich auf der rechten Netzhaut verkürzt als ein gerader vertikaler Strich abbilden, also dasselbe Bild geben, wie es der einfache Vertikalstrich der Fig. 35 erzeugt. Im linken Auge würde jenes wirkliche Kreuz seine vier Schenkel ebenso abbilden, wie es das Kreuz der Fig. 35 thut. Dies ist der wahrscheinlichste Effect, sobald die linke einfache Vertikale mit einer der beiden Linien des Kreuzes genau zusammenfällt, d. h. wenn beide sich auf identischen Stellen abbilden. Eine stereoskopische Verschmelzung nichtidentischer Bilder ist also hierbei zur Herstellung des stereoskopischen Sammelbildes nicht unumgänglich nöthig, so wenig, als bei Fig. 29 und 31, wo ebenfalls identisch gelegene Bildertheile verschmolzen wurden und doch ein stereoskopischer Eindruck erfolgte.

Der stereoskopische Eindruck wird auch dadurch wesentlich begünstigt, dass das schiefwinklige Kreuz der Fig. 35, schon wenn es allein gesehen wird, sehr zur stereoskopischen Anschauung auffordert. Man zeichne dasselbe auf eine Glasplatte, halte es vor den hellen Himmel und betrachte es mit e i n e m Auge, so wird es einen über-

raschenden stereoskopischen Eindruck machen *). Dabei wird jedoch derselbe Schenkel bald nach vorn bald nach hinten aus der Ebene des Glases treten, weil in der schiefwinkligen Kreuzung beider Striche nur eine Aufforderung zum Tiefsehen überhaupt, nicht zum Tiefsehen in bestimmter Weise liegt. Biete ich dagegen zu gleicher Zeit dem andern Auge den einfachen Strich, so wird die Weise des Tiefsehens durch denselben bestimmt und zugleich das Tiefsehen noch zwingender. Wir sehen dann also nach dem oben angegebenen Gesetze das Kreuz in der Lage, in welcher ein wirkliches Kreuz uns dieselben Netzhautbilder geben würde, wie Fig. 35.

Ich hebe die Geneigtheit des Einauges, zwei schiefwinklig gekreuzte Striche schon an und für sich stereoskopisch zu sehen, darum hervor, weil es mir geschienen hat, als setzten manche Autoren voraus, der stereoskopische Eindruck der WHEATSTONE'schen Figur sei als solcher schon ein Beweis dafür, dass der einfache Strich der einen Seite mit dem schrägen der andern verschmolzen worden sei. Diese Voraussetzung wäre jedoch falsch. Ist nehmlich schon für das Einauge, in welchem sich das Kreuz abbildet, die Neigung zu stereoskopischer Anschauung so gross, dann wird begreiflich, dass die letztere um so entschiedener hervortritt, sobald das Netzhautbild im andern Auge nur irgend wie die stereoskopische Anschauung unterstützt. Diese Unterstützung aber braucht durchaus nicht immer darin zu bestehen, dass der einfache Vertikalstrich mit dem Schrägstriche des Kreuzes verschmolzen wird, vielmehr kann sich die Verschmelzung sehr verschiedenartig gestalten, *während doch der stereoskopische Effect immer in demselben Sinne erfolgt.* Eine genaue Analyse des Versuchs, wie ich sie jetzt geben will, wird dies noch deutlicher machen. Dabei kann ich mich zunächst nur an die Eindrücke halten, die ich selbst gewinne; ich zweifle jedoch nicht, dass jeder sorgsame Beobachter zu gleichen Resultaten kommt, nachdem er sich hinreichend im strengen Fixiren und in der damit bedingten Wahrnehmung der Doppelbilder geübt hat.

---

*) In wie weit diese einäugige Stereoskopie, wie ich sie nenne, einen physikalischen Grund haben kann, ist in §§. 26 und 28 dargelegt. Ob und in wie weit ausserdem physiologische Gründe dafür da sind, bleibt weiterer Besprechung vorbehalten. Wie weit die physikalische Erklärung ausreicht, wird sich durch Rechnung annähernd bestimmen lassen.

§. 33.

Fig. 35 ist die von WHEATSTONE angegebene Figur. Der Abstand des einfachen Striches von dem schrägen Kreuze ist der Bequemlichkeit wegen vermindert, was das Wesen des Versuches nicht berührt. Den einfachen Strich nenne ich der Kürze wegen 1, den ihm parallelen des Kreuzes 2 und den schrägen 3. Ich mache den Versuch zunächst mit vorn gekreuzten Augenaxen, aus Gründen, die ich oben angeführt habe. Wer seine Augen so in der Gewalt hat, dass er die Augenaxen auch hinter dem Papiere beliebig kreuzen kann, der wird sich meine Darstellung leicht in diesem Sinne übersetzen; es erscheint dabei Alles entgegengesetzt. Am Schwierigsten, aber auch am Exactesten ist der Versuch bei parallelen Augenaxen. Aber es ist sehr schwer bei dieser Stellung, die Augen vollkommen in der Gewalt zu behalten, beliebig ein wenig zu convergiren und wieder parallel zu stellen, was für das Folgende nöthig wäre. Ausserdem erscheinen dann die Striche den Meisten sehr verwischt, weil die Augen sich entsprechend ihrem Parallelismus für die Ferne einstellen, und nur die Wenigsten ihre Accommodation so beherrschen, dass sie dieselbe von der Augenstellung unabhängig machen können. Die Anwendung von Gläsern aber muss ich, als eine störende Complication des Versuchs verwerfen.

Ich beginne nun damit, die entsprechenden Trugbilder von Strich und Kreuz durch langsam verstärkte Convergenz der Augenaxen einander zu nähern. Dabei muss streng darauf geachtet werden, dass 1 und 2, d. h. also die wirklich parallelen Striche auch in ihrer Erscheinung parallel bleiben. Ist dies nicht der Fall, so muss man dem Papiere eine entsprechende Neigung geben. Der Winkel unter dem dies geschehen muss, hängt natürlich von der Stellung des Kopfes ab, ist aber ausserdem innerhalb gewisser Grenzen ein individueller.

Wer sich mit einschlagenden Versuchen beschäftigt hat, kennt diejenige Neigung der Visirebene, bei welcher er seinen Augen eine beliebige Convergenz geben kann, ohne dass die horizontalen Trennungslinien sich aus der Visirebene drehen. MEISSNER gab für diese Neigung bei aufrechtem Kopf 45° an, v. RECKLINGSHAUSEN 35°, WUNDT 40° etc. Wer die individuelle Lage dieser Visirebene kennt, stelle das Papier senkrecht auf dieselbe. Uebrigens aber braucht man nur darauf zu halten, dass die Striche 1 und 2, wenn sie sich in Folge der zunehmen-

den Convergenz der Augenaxen nähern, streng parallel bleiben. Die Nichtachtung dieser Vorschrift hat sich bei vielen Autoren durch ein falsches Urtheil über die erfolgten stereoskopischen Eindrücke gerächt; nicht sowohl im WHEATSTONE'schen Versuche als in vielen anderen.

§. 34.

Ist das entsprechende Bild des Striches 1 dem Bilde des Kreuzes so nahe gebracht, dass das obere Ende von 1 mit dem obern Ende des schrägen Striches 3 zusammenfällt, so erhält man das in Fig. 36 dargestellte Bild. Um sich die Festhaltung der Augen in der betreffenden Lage zu erleichtern, mache sich der minder Geübte an die beiden zu verschmelzenden Strichenden eine Marke, wie sie Fig. 37 zeigt. Wer selbst mit diesem Hülfsmittel die Augen nicht in der nöthigen Ruhe halten kann, muss darauf verzichten, über derartige Versuche ein Urtheil aus eigner Anschauung zu fällen; er muss sich lediglich auf die gewissenhaften Angaben Anderer verlassen.

Fig. 36.

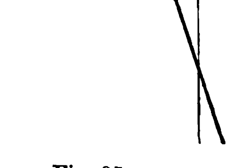


Fig. 37.

Beachtet man jetzt anhaltend das verschmolzene Ende der Striche 1 und 3, so bemerkt man bald, dass die Augen etwas zu schwanken beginnen. Dabei nähert sich hin und wieder der Strich 1 dem Striche 2; während dieser Schwankung schmelzen die oberen Endstücke von 1 und 3 zusammen, und der verschmolzene Theil springt aus der Blattebene nach hinten. Sofort tritt die Vorstellung ein, der g a n z e Strich 3 liege in derselben Richtung, wie sein stereoskopisch verschmolzenes oberes Endstück, und schneidet man in diesem Augenblicke die Beobachtung ab, so liegt die Unvorsichtigkeit nahe, zu wähnen, man habe die volle stereoskopische Anschauung gehabt. Denn da ein Anlass zu derselben, wie erwähnt, schon zuvor für das linke Auge da ist, so tritt sie nun um so leichter ein, wenn durch stereoskopische Verschmelzung auch nur eines Theiles der Striche (1 und 3) die Richtung angedeutet wird, in welche die g a n z verschmolzenen Striche zu liegen kämen. Fixirt man aber nochmals streng das verschmolzene Ende und beachtet nebenhin (doch ohne die geringste Blickschwankung) auch die übrigen Theile der theilweise

verschmolzenen Striche 1 und 3, so zerfällt das verschmolzene Stück wieder, schmilzt jedoch bald in Folge der Ermüdung des Auges abermals zusammen, zerfällt nochmals u. s. f. Man erhält abwechselnd folgende drei Bilder *a*, *b* und *c* Fig. 38. Hat man das Bild *b*, so erscheint das eben verschmolzene obere Stück nicht in der Blattebene, sondern liegt mit dem oberen Ende dahinter, was sich auf der Planzeichnung natürlich nur in der Projection wiedergeben lässt.

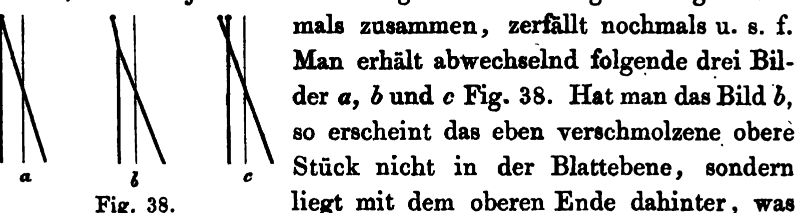


Fig. 38.

§. 35.

Nähert man absichtlich die Trugbilder von Strich und Kreuz soweit, dass die Striche 1 und 3 sich kreuzen, so erhält man bei festester Fixation kein stereoskopisches Bild. Zur Erleichterung versehe ich die Stellen der Striche 1 und 3, welche den Kreuzungspunkt bilden sollen, mit Marken, wie in Fig. 39.

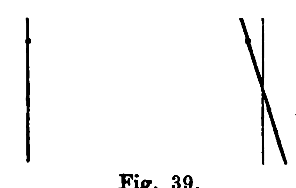


Fig. 39.

Der Eindruck bei durchaus ruhigem Blicke ist dann der Fig. 40 entsprechend.

Fig. 40.

Das leiseste Schwanken des Blickes jedoch bewirkt sogleich die stereoskopische Verschmelzung beider Striche nach oben und unten von der markirten Stelle; die obern Theile der Striche 1 und 3 erscheinen dann vereinigt und stereoskopisch nach hinten ragend. Der untere Theil des Striches 1 wird dabei bald übersehen, bald drängt er sich wieder in die Anschauung, und dann löst sich sofort auch wieder der obere Theil, und man sieht abermals Fig. 40. Dies geschieht auch dann, wenn man, während die oberen Theile der Striche 1 und 3 verschmolzen sind, die Aufmerksamkeit auf den untern Theil von 1 wendet. Dabei

ertappt man häufig den Strich 1 näher oder ferner von 2, als wie ihn Fig. 40 darstellt; nehmlich so, wie ihn *a* oder *b* der Fig. 41 zeigt. Freilich gehört zu dieser Beobachtung ein sehr scharfer Sinn für Doppelbilder, wie ihn nur eine lange Uebung entwickeln kann.

a *b*

Fig. 41.

§. 36.

Fig. 41 *b* zeigt nun schon die Annäherung an den Fall, in welchem die parallelen Striche 1 und 2 sich vereinigen und ein ruhiges stereoskopisches Bild sich herstellt. Wer nicht schon durch die bisherige Beobachtung sich überzeugt hat, dass bei dieser Vereinigung, wenn sie dauernd und bei fester Fixation zu Stande kommt, nur die beiden Parallelstriche 1 und 2 in Betracht kommen können, der mache sich zwei Marken an den Strich 1, wie dies in Fig. 42. gethan ist.

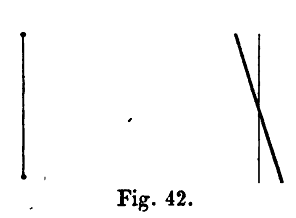


Fig. 42.

Er wird die Marken im stereoskopischen Bilde stets an dem (vereinigten) Vertikalstriche wiederfinden; immer vorausgesetzt, dass er wohl beachtet hat, ob beide Vertikalstriche, kurz bevor sie zusammenfielen, noch parallel erschienen. Schwankt freilich der Blick leise hin und her, so dass der Strich 1 bald nach links, bald nach rechts von 2 abweicht, so schmilzt abwechselnd seine obere oder untere Hälfte mit der entsprechenden Hälfte von 3 zusammen; dann werden also allerdings die Striche 1 und 3 successive Theil für Theil verschmolzen, und zwar sehr rasch und leicht. Denn die Neigung zur stereoskopischen Anschauung ist, wie gesagt, von vornherein sehr gross, bei Ungeübten viel grösser, als bei Geübten. Springt nur irgend ein Theil der Striche stereoskopisch heraus, so wird der ganze übrige Strich sofort in derselben Richtung aufgefasst, und der Trugbildtheil, der nicht in die stereoskopische Anschauung passt, wird sehr oft übersehen.

Diese Vernachlässigung ist um so leichter, als das Trugbild nur einäugig gesehen wird, jeder stereoskopisch gesehene Theil doppeläugig, das doppeläugig Gesehene aber sich ceteris paribus stets lebhafter ins Bewusstsein drängt. Ferner geht ein Theil der Trugbilder im Wettstreite der Sehfelder von Zeit zu Zeit fast ganz unter, der einäugig gesehene schwarze Strich wird also von dem Papierweiss, das im andern Auge die identische Stelle einnimmt, von Zeit zu Zeit übertönt, taucht wieder auf, verschwindet wieder u. s. f. Dies Alles kommt jedoch nicht in Betracht, sobald nicht 1 und 3, sondern die Parallelstriche 1 und 2, nachdem sie einander parallel genähert worden sind, in ihrer ganzen Länge verschmolzen erscheinen; das Auge findet dabei Beruhigung und fixirt ziemlich gut. Es ist offenbar, das dabei identisch gelegene Bilder sich vereinigt haben, und dass der stereoskopische Eindruck also nicht die Folge einer Verschmelzung nichtidentischer Bilder ist, wie dies allerdings bei den sonst üblichen Stereoskopenbildern stets der Fall ist. Woher aber der stereoskopische Eindruck in unserm Falle stammt, habe ich oben bereits erörtert.

§. 37.

Erscheint das Trugbild des Striches 1 nicht parallel dem des Striches 2, erscheint es vielmehr (in Folge einer Neigung des Papieres zur Visirebene oder einer Axendrehung der Augen) so, wie Fig. 43 *a* darstellt, dann tritt leicht der in §. 31 an Fig. 33 erörterte Fall einer stereoskopischen Verschmelzung ein. Der Strich 1 schmilzt mit der obern Hälfte von 3 und der untern von 2 zusammen, und das Verschmolzene erscheint als ein Winkel, welcher dem rechten Auge seinen Scheitel zukehrt. Die nicht verschmolzene obere Hälfte von 2 und die ebenfalls einäugig gesehene untere Hälfte von 3 erscheinen dann als Fortsetzungen der zugehörigen verschmolzenen Hälften, und das stereoskopische Bild wird demnach vollständig. Dasselbe Bild zeigt sich, wenn das Trugbild des Striches 1 durch noch stärkere Convergenz der Augenaxen über den Mittelpunkt des Kreuzes hinausgeschoben wird, und nun von der entgegengesetzten Seite her (siehe Fig. 43 *b*) mit den beiden zunächst

a *b* *c*
Fig. 43.

liegenden Schenkeln des Kreuzes verschmilzt; welcher Fall dann ganz analog dem im §. 31 an Fig. 34 besprochenen ist. Die verschmolzene Hälfte des Kreuzes erscheint als ein stumpfer Winkel, dessen Oeffnung gerade gegen das rechte Auge sieht. Die andere, nur mit dem linken Auge gesehene Hälfte des Kreuzes ergänzt nun, wie vorhin, den doppeläugig verschmolzenen Theil zu einem stereoskopischen Gesammtbilde.

§. 38.

Ist die Lage der Visirebene, beziehendlich die Lage der Papierebene eine solche, dass bei der allmählichen Convergenz der Augen die Striche 1 und 3 sich als parallele nähern (was der Sachverständige sich aus der Identität der Netzhäute und der Drehung der Augen um ihre Axe leicht ableiten wird); erscheinen also die einander genäherten Trugbilder wie in Fig 43 *c*, so fällt der Strich 1 endlich seiner ganzen Länge nach mit 3 zusammen, weil beide identischen Stellen angehören; trotzdem tritt der stereoskopische Eindruck auch hierbei aus angeführten Gründen ein: man sieht ein schräges Kreuz, das dem rechten Auge genau die schmale Seite, dem linken die (in perspectivischer Verkürzung erscheinende) Breitseite zuwendet.

§. 39.

Kommt das Bild des Striches 1 bei absolut ruhiger Fixation mitten zwischen die Schenkel des Kreuzes so zu liegen, wie es *a* Fig. 44 darstellt, so wird es bei jeder Schwankung des Blickes bald nach links, bald nach rechts verschoben werden, und dabei entsprechend bald mit der obern Hälfte von 3 und der untern von 2 (vgl. Fig. 33 §. 31), bald mit der obern Hälfte von 2 und der untern von 3 (vergl. Fig. 34 §. 31) stereoskopisch verschmolzen werden. Kommt aber das Bild von 1 nicht genau in die Mitte von 1 und 3 zu liegen, was bei einer leichten Veränderung der Neigung des Kopfes oder Papieres sofort eintreten kann, neigt sich z. B. das Bild von 1 mehr nach dem Striche 3, so dass es, wenn eine gesonderte Wahrnehmung noch möglich wäre, etwa so wie in *b* Fig. 44 erscheinen müsste: dann wird es mit 3 ganz in derselben Weise zusammenschmelzen, wie überhaupt

a *b*

Fig. 44.

zwei nicht genau identisch gelegene, sondern etwas gegen einander geneigte Netzhautbilder gerader Striche (vergl. Fig. 32 §. 31). Das aus der Vereinigung von 1 und 3 entstandene Bild wird dann in etwas andrer Lage erscheinen, als da, wo es durch Verschmelzung seiner identisch gelegenen Netzhautbilder entstand, welcher letztere Fall §. 38 besprochen wurde. Erscheint dagegen das Bild von 1 mehr zu dem Striche 2 geneigt, so wird es mit diesem verschmelzen und dabei ebenfalls eine etwas andre scheinbare Lage zeigen, als in dem §. 36 besprochenen Falle, wo die Striche 1 und 2 bei identischer Lage ihrer Netzhautbilder verschmolzen wurden.

§. 40.

Die gegebene Darstellung hat gezeigt, in wie verschiedener Weise eine Verschmelzung des einfachen Striches 1 mit Theilen des schrägen Kreuzes möglich ist, und dass bei alledem der stereoskopische Effect stets in demselben Sinne, wenn auch nicht genau gleich ausfällt. Diese Gleichartigkeit des Erfolges hat zu dem Vorurtheile geführt, der stereoskopische Eindruck sei stets die Folge einer Verschmelzung der Striche 1 und 3, und demgemäss sah man umgekehrt den stereoskopischen Eindruck überhaupt als Beweis für eine derartige Verschmelzung an. Genügt man der Wheatstone'schen Voraussetzung, d. h. bringt man die beiden Vertikalstriche wirklich in eine solche Lage zum Auge, dass sie sich auf identischen Stellen abbilden, dann verschmelzen sie auch; von einer stereoskopischen Verschmelzung des einfachen Vertikalstriches 1 mit dem Schrägstriche 3 ist unter solchen Umständen keine Rede. Verschmelzen dagegen einmal letztere beiden mit einander, so geschieht es ebenfalls, weil sie, der Lage des Papiers zu den Augen und der Stellung der letztern gemäss, sich auf genau oder doch nahezu identischen Stellen abbildeten; dann aber kann umgekehrt von einer identischen Lage der Bilder der Vertikalstriche, wie sie Wheatstone voraussetzt, nicht die Rede sein. Seine Behauptung, man sehe bei diesem Versuche mit identischen Stellen doppelt, ist nach alledem völlig unbegründet, und ich bin überzeugt, dass er sie nie gemacht hätte, wenn er wie z. B. in Fig. 42, den einen Vertikalstrich mit Marken versehen hätte. Denn da er den Versuch mit parallelen Augenaxen (und vermuthlich senkrecht auf denselben

stehender Fläche der Zeichnung) anstellte, so war die Drehung der Augen um die Augenaxe ausgeschlossen, welche, wie ich zeigte, bei convergenten Augenaxen eine falsche Auslegung veranlassen kann.

Zum Beweise, dass übrigens auch eine grosse Verschiedenheit der Striche in ihrer Stärke das Ergebniss nicht abändert, füge ich noch Fig. 45 hinzu. Habe ich mir aus Fig. 45 unter Beachtung aller

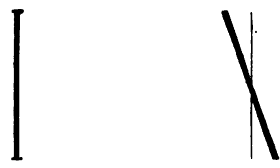


Fig. 45.

angegebenen Cautelen (vergl. besonders §. 36) das Sammelbild in der von WHEATSTONE vorausgesetzten Weise erzeugt, so sehe ich den starken Vertikalstrich mit dem feinen zu einem Leistchen verschmolzen, welches sich in der, an Fig. 31 §. 31 beschriebenen Weise präsentirt und oben und unten die Marke des starken Vertikalstriches erkennen lässt; der schräge starke Strich aber springt deutlich stereoskopisch aus der Papierebene vor, trotzdem dass er nur einäugig gesehen wird.

Nagel's Angriff auf die Identitätslehre.

§. 41.

Ehe NAGEL in der angeführten Abhandlung seine Gegengründe darlegt, sucht er zuvor einige Beweise zu entkräften, welche man für die Identität der Netzhäute vorgebracht hat. »Dass«, wie NAGEL (S. 146) bemerkt, »der Satz: Einfachsehen findet Statt, wenn die Bilder und Punkte auf correspondirende, Doppelsehen, wenn sie auf differente Netzhautstellen fallen, nicht den Grund des Einfachsehens enthält, sondern die Umstände, unter denen das Einfachsehen erfolgt«, ist richtig, und es wäre nur hinzuzufügen, dass die Identität der Netzhäute zunächst auch nichts weiter sein soll, als der kurze Ausdruck für das empirisch aufgefundene Gesetz, nach welchem wir die Reizung correspondirender Stellen stets in einer und derselben Richtung oder an einem und demselben Orte wahrnehmen. Die Erklärung dieses Gesetzes aus anatomischen oder »psychischen« Gründen ist eine Sache für sich, und das Gesetz ist darum nicht minder gültig, weil es noch nicht hinlänglich erklärt ist. Wenn also NAGEL die Haltlosigkeit anatomischer Erklärungen der Identität nachzuweisen sucht, so greift er damit die Identität selbst nicht an; sie ist ein Ausdruck für Thatsachen, die fortbestehen, auch wenn sie noch so falsch erklärt worden wären. Hätte auch NAGEL die anatomische Begründung der Identität mit mehr Glück bekämpft, als er mir gethan zu haben scheint, so würde doch hiervon jenes Gesetz der Identität ganz unberührt bleiben. Darum gehe ich auch hier auf jene anatomische Frage nicht ein; sie will ausführlicher besprochen sein, als mir hier möglich ist. Dass übrigens die anatomische Erklärung des Einfachsehens mit identischen Stellen in den Fällen von Lähmung der identischen Netzhauthälften eine Stütze findet, wie sie nicht oft physiologischen Hypothesen von Seiten der Pathologie zu Theil wird, ist

offenbar und anerkannt. NAGEL wird also die anatomische Hypothese gewiss nicht widerlegt haben, wenn er (S. 149) sagt:

»Weitere Beobachtungen haben es ausser Zweifel gestellt, dass wirklich der Truncus opticus jeder Seite die gleichnamigen Hälften beider Netzhäute innervirt, dass eine einen Truncus leitungsunfähig machende Ursache Hemiopie der gedachten Art häufig genug erzeugt. Allein das beweist nicht das Geringste für die Identität und ihre anatomische Begründung; es beweist nur, dass die in den Sehnerven enthaltenen von beiden Truncis kommenden Fasern in regelmässiger symmetrischer Weise auf der Netzhaut vertheilt sind. Dass diese Symmetrie übrigens noch weiter geht, als jene Fälle von Hemiopie lehren, habe ich aus mehreren pathologischen Beobachtungen von Sehstörungen aus centraler Ursache ersehen können, wo die Gesichtsfelder beider Augen gleichartige Defecte zeigten, die nur einen Quadranten oder weniger betrafen.«

Wer in diesen Thatsachen, ihre Richtigkeit vorausgesetzt, keine Stütze für die centrale Correspondenz der Nervenfasern identischer Stellen zu finden vermag: der würde höchstens durch eine lange Discussion, zu welcher hier nicht der Raum ist, für eine anatomische Erklärung der Identität zu gewinnen sein. Hier kommt es mir nur auf die Constatirung, nicht auf eine Erklärung der Identität an.

§. 42.

Weiterhin wendet sich NAGEL gegen JOH. MÜLLER's experimentelle Begründung der Identität durch die Druckfiguren. Dieser Versuch ist antiquirt, und mit Recht, weil nach unsern heutigen Kenntnissen jede exacte Doppelbildbeobachtung unendlich mehr beweist. NAGEL sucht MÜLLER's Folgerungen aus diesen Versuchen zuerst theoretisch zu entkräften. Was ich gegen diesen theoretischen Theil der Auseinandersetzung des Autors einzuwenden habe, ist mit enthalten in dem, was ich unten gegen das vermeintliche Sehen nach Richtungslinien überhaupt vorbringen will. Eine experimentelle Widerlegung MÜLLER's sucht NAGEL (S. 151) in folgendem Versuche zu geben:

»Nachdem man sich die Stelle des Sehfeldes gemerkt hat, wo bei gewöhnlicher paralleler Augenrichtung beim Druck an bestimmter Stelle des Orbitalrandes eine Lichterscheinung sich befand, richte man die Augen stark convergent, und übe nun den Druck in gleicher Weise wie früher zunächst dem Orbitalrande aus. Wiederum werden sich die Phosphene an ungefähr derselben Stelle des Sehfeldes decken; wiewohl ganz andere Regionen der Netzhaut gereizt werden. Man richte die

Augen ferner seitlich und drücke wieder ganz nahe am Orbitalrande. Auch jetzt nimmt der einfache Feuerkreis die nämliche Stelle im Sehfelde ein. Es ist klar, dass bei Convergenz der Sehaxen sowohl als bei associirter Seitenbewegung der Bulbi nicht mehr identische Punkte der Netzhaut an der Stelle des Orbitalrandes, wo der drückende Finger sich befindet, zu liegen kommen; und dennoch tritt in der Projection der Druckfigur keine merkbare Aenderung ein. Also auch wenn nicht identische Stellen gereizt werden, kann dennoch die Reaction eine einfache sein, falls nämlich die gereizten Stellen zum Sehfelde die gleiche Lage haben. Es haftet demnach das einfache, durch Deckung zweier entstandene Phosphen nicht an gewissen ein für alle Mal gleichen Punkten der Netzhaut, sondern an gewissen Stellen des Reizes, gleichgültig, welche Punkte der Netzhäute sich gerade an dieser Stelle befinden. *Die Stellen des Reizes müssen identisch sein, nicht die Punkte der Netzhäute.*«

Wer die grosse Unbequemlichkeit dieser Versuche nicht scheut, wird sich bald überzeugen, dass es erstens sehr schwer ist, zwei nach Grösse und Helligkeit gleiche Lichtkreise auf identischen Stellen zu erzeugen, dass vielmehr gewöhnlich der eine den andern in der Wahrnehmung übertönt; dass ferner diese Lichtkreise meist viel zu gross und zu undeutlich begrenzt sind, um, wenn sie anfangs zusammenfielen, durch eine Augenbewegung deutlich zerspalten zu werden; endlich aber auch, dass diese Lichtkreise sich stets bewegen, sobald man, bei fortdauerndem Drucke des Auges an unveränderter Stelle des Orbitalrandes, das Auge bewegt. Dies ist leicht zu beobachten, gleichgültig, ob man nur an einem oder an beiden Augen experimentirt; am deutlichsten bei Druck auf die Nasenhälfte der Netzhaut. Sind bei binocularer Anstellung des Versuches die Bewegungen ergiebig genug, so kann man auch die anfangs sich deckenden Lichtkreise zu vollkommener Spaltung bringen; deckten sie sich gleich anfangs nicht, so kann man doch ihre Bewegung zu einander oder von einander unter passenden Umständen wahrnehmen. Nagel's Behauptung ist also lediglich eine Folge ungenügender Beobachtung, zu welcher allerdings die Beschwerlichkeit oder gar Schmerzhaftigkeit des Versuchs leicht verführt. Schon der einzige Umstand, dass z. B. bei Druck eines Stecknadelkopfes auf die Nasenhälfte des Auges das entstandene Phosphen sich deutlich bei jeder Augenbewegung mit bewegt, beweist, dass der scheinbare Ort desselben nicht, wie Nagel behauptet, von der Stelle der drückenden Nadel, sondern von dem Netzhauttheile abhängt, welcher gedrückt wird. Weil bei Bewegung des

Auges verschiedene Netzhauttheile nacheinander gedrückt werden, ändert sich der scheinbare Ort des Phosphens, trotzdem, dass die Augen willkührlich bewegt werden. Hinge der scheinbare Ort des ersteren von der Lage des drückenden Nadelkopfes und von der zugehörigen Projectionslinie ab, so müsste bei willkührlichen Bewegungen des Auges das Phosphen unverrückt an seiner Stelle beharren. Der Versuch ist also sogar ein Beweis gegen die ganze Projectionstheorie, wie sie NAGEL verficht, und nichts weniger als ein Beweis gegen die Identitätslehre. Ausführlicher über den Versuch zu sein, unterlasse ich, weil er an sich nicht viel taugt und die Augen sehr angreift.

§. 43.

Die Aufzählung seiner hauptsächlichen Gegengründe beginnt NAGEL S. 152 in folgender Weise:

»Was den ersten und Hauptsatz anbelangt: Gegenstände, deren Bilder auf identische Netzhautstellen fallen, werden einfach gesehen, so ist die darin ausgesprochene Bedingung so gut wie unerfüllbar. Ich habe im ersten Abschnitte auseinandergesetzt, dass es in endlicher Entfernung keinerlei körperliche Gegenstände giebt, deren Bilder unter irgendwelchen Umständen identische Netzhautstellen treffen könnten, ja nicht einmal ebene Figuren. Die einzige Ausnahme, die dort statuirt wurde, Figuren in der Medianebene, welche symmetrische Bilder liefern, kommt praktisch offenbar gar nicht in Betracht.«

Hierauf giebt der Autor den Beweis, »dass die Visirlinien identischer Netzhautpunkte bei beliebiger Fixation im Allgemeinen im Raume nicht zur Schneidung gelangen.« Er lässt dabei der Einfachheit wegen die Netzhaut eine Kugelkrümmung haben und verlegt den Kreuzungspunkt aller Visirlinien auf den Mittelpunkt dieser Krümmung. Dass er dabei Primärstellung auch das nennt, was nach MEISSNER's Vorgange Secundärstellung heisst, ist unwesentlich. Eine einfache stereometrische Betrachtung führt ihn nun zu dem bekannten Ergebniss, dass unter den gemachten Voraussetzungen nur im MÜLLER'schen Horopterkreise und der darauf senkrecht stehenden PREVOST'schen Horopterlinie je zwei Visirlinien, welche identischen Punkten angehören, zur Schneidung kommen können. Da wir aber, wie sich leicht zeigen lässt, gar nicht in den Richtungen der »Visirlinien« sehen, so ist es für das Einfachsehen mit identischen Punkten

an und für sich ganz gleichgültig, ob sich ihre Visirlinien schneiden oder nicht.

Mit dieser Behauptung soll nicht etwa der scharfsinnigen Ableitung der Visirlinien, wir wir sie HELMHOLTZ verdanken, zu nahe getreten werden. Was HELMHOLTZ auf die Unterscheidung der Visirlinien von den Richtungslinien führte, war die Thatsache, dass sichtbare Punkte, die auf einer und derselben Richtungslinie in verschiedener Entfernung vom Auge liegen, nicht nothwendig auch in einer Richtung liegend erscheinen müssen, weil das scharfe Bild des einen meist nicht in den Mittelpunkt des Zerstreuungskreises des andern, sondern etwas excentrisch zu liegen kommt, während wir nur zwei solche Punkte, deren einer genau in der Mitte des Zerstreuungsbildes des andern (vor oder hinter demselben) erscheint, in einer und derselben Richtung sehen. Dass letztere einfache Sehrichtung mit der Visirlinie (HELMHOLTZ) so wenig zusammenfällt, wie mit einer andern sogenannten Projectionslinie, werde ich unten noch weiter besprechen. Die Visirlinien, wie sie HELMHOLTZ charakterisirt, sind der mathematische Ort derjenigen Punkte im wirklichen Raume, welche uns, gleichzeitig auf der Netzhaut abgebildet, in derselben Richtung erscheinen, welchen eine und dieselbe Sehrichtung zukommt, oder, anders gesagt, welche im Sehraume, gleichzeitig gesehen, genau hintereinander liegend erscheinen. Die Visirlinien gehören dem objectiven Raume an und schneiden sich im Mittelpunkte der Pupille; wo sich die entsprechenden, dem subjectiven Raume angehörigen Sehrichtungen etwa im subjectiven Raume schneiden könnten, ist eine Frage für sich, und es wäre unerlaubt, wenn man Thatsachen aus dem physikalischen Theile der physiologischen Optik ohne Weiteres auf den psychischen Theil übertragen wollte.

NAGEL's Behauptung nun, dass selbst bei Primär- und Secundärstellung der Augen die Visirlinien identischer Punkte sich zum allergrössten Theile nicht schneiden können, bleibt auch dann richtig, wenn man ihren Kreuzungspunkt nicht in den Mittelpunkt einer hemisphärischen Netzhaut, sondern an ihren wirklichen Ort, d. i. an den jeweiligen Mittelpunkt der Pupille verlegt; aber sie bleibt aus erwähntem Grunde für das Einfachsehen auch ebenso irrelevant. In Betreff des letzteren hat man nehmlich nicht zu fragen, wo sich Visirlinien oder Projectionslinien schneiden, vielmehr nach denjenigen Orten im Aussenraume, an welchen ein Punkt liegen muss, um sich auf identischen Stellen abbilden zu können. So hat JOH. MÜLLER gefragt, als er den Horopter suchte; die Umkehrung der Frage war ein verhängnissvoller Rückschritt.

Lässt man die Netzhaut eine Kugelfläche, den Kreuzungsort der Richtungslinien einen mathematischen Punkt sein und letzteren der

Einfachheit wegen im Mittelpunkte der Netzhautkrümmung liegen; nennt man ferner identische Punkte diejenigen, welche mathematisch genau zusammenfallen würden, wenn man beide ideale Netzhautflächen so zusammen gelegt denkt, dass die (empirisch aufzufindenden) »vertikalen und horizontalen Trennungslinien« zusammenfallen: so kann über den Ort derjenigen Punkte des Aussenraumes, welche sich auf identischen Stellen abbilden, kein wissenschaftlicher Streit sein. Eine einfache stereometrische Betrachtung ergiebt dann für Primär- und Secundärstellung die Müller'sche Horopterkreislinie und die darauf vertikale Horopterlinie Prevost's. Dass man die erwähnten Voraussetzungen bei der Aufsuchung des »Horopters« machte und gleichwohl die Gestalt desselben so lange verkannte, lässt sich nur aus einer auffallenden Vernachlässigung des stereometrischen Theiles der Frage erklären. Es handelt sich in der That dabei nur um ein rein stereometrisches Problem. Alle neueren Bearbeiter desselben befinden sich daher in einer unvermeidlichen Uebereinstimmung. Prevost, Burckhardt, v. Recklinghausen, Nagel, Wundt etc. sind in Betreff des mathematischen Horopters der Primär- und Secundärstellung einverstanden, und ich selbst habe mich in §§. 15—18 dieser Beiträge bemüht, seine einfachen Verhältnisse ohne alle Rechnung anschaulich zu machen.

Ganz anders gestaltet sich die Beantwortung der Frage nach dem empirischen Horopter. Von mathematischer Genauigkeit kann bei seiner Bestimmung nicht die Rede sein, weil sie nur möglich sein würde, wenn die Wahrnehmung der Doppelbilder eine mathematisch genaue wäre. Sie kann es nicht sein, weil die Wahrnehmung räumlicher Unterschiede überhaupt eine Grenze hat; weil im indirecten Sehen die kleinsten wahrnehmbaren räumlichen Unterschiede unverhältnissmässig gross werden; weil eine absolut ruhige Fixation unmöglich ist; weil der Wettstreit der Sehfelder viele Doppelbilder zerstört; weil eine stereoskopische Verschmelzung wenig differenter Netzhautbilder möglich ist etc. etc. Wäre aber auch die Wahrnehmbarkeit der Doppelbilder eine unbegrenzt feine, so würde das Experiment darum doch nicht einen Horopter von genau derselben Form ergeben müssen, wie ihn die Rechnung ergeben hat, weil die Voraussetzungen dieser Rechnung nicht genau die wirklichen Verhältnisse decken. Der Kreuzungspunkt der Richtungslinie ist kein mathe-

matischer Punkt, und weder seine Lage noch die Krümmung der Netzhaut entspricht genau den in der Rechnung gemachten Annahmen. Alles dies beweist, dass der berechnete Horopter nur in seinen gröbsten Verhältnissen empirisch wiedergefunden werden kann, und dass das Einfachsehen ausserhalb des mathematischen Horopters gelegener Dinge kein Grund gegen denselben ist. Der berechnete Horopter würde selbst dann, wenn alle die oben erwähnten Vordersätze, nach denen er construirt ist, mathematisch richtig wären, nur der Ort derjenigen Raumpunkte sein, welche im Allgemeinen die nächste Anwartschaft darauf haben, sich im Sehraume der Richtung oder dem Orte nach zu decken; alles dem Horopter Benachbarte hat diese Anwartschaft auch, nur in geringerem Grade. Etwas Anderes kann die Identitätslehre nicht behaupten; sie wird es den Forschungen über den Gang der Lichtstrahlen im Auge überlassen können, zu entscheiden, ob und inwiefern der mathematische Horopter eine Correctur zu erfahren hat; übrigens aber wird sie sich vorläufig mit den Horopterlinien Müller's und Prevost's begnügen dürfen, weil auch das Experiment lehrt, dass alles auf diesem Horopter Gelegene bei Primär- und Secundärstellung sich wirklich auch im gesehenen Raume entweder der Richtung oder sogar dem Orte nach deckt. Wenn auch ausserhalb des Horopters Gelegenes einfach erscheint, was sich also nicht auf genau identischen Stellen abbildet, so ist dies kein Grund gegen jenen Horopter, sondern zeigt nur, dass der mathematische Horopter gleichsam nur das Gerippe des wirklichen ist, wenn man unter letzterem den Raum versteht, welcher das gleichzeitig einfach Gesehene umfasst.

Wenn also Nagel seine obige Behauptung auch entsprechender formulirt, d. h. sie umgekehrt und gesagt hätte, dass im Allgemeinen nur äusserst Weniges sich gleichzeitig auf genau identischen Stellen abbilden könne, so würde diese bekannte Thatsache immerhin kein Grund gegen die Identitätslehre sein. Die Identitätslehre hat längst dasselbe behauptet, aber sie fügt hinzu, dass es sich um mathematische Genauigkeit beim Sehen nicht handeln könne, dass man es vielmehr in praxi überall nur mit Annäherungen an dieselbe zu thun habe, und dass die geringe Ausdehnung des beim Nahesehen wirklich auf identischen Stellen Abgebildeten für gewöhnlich durchaus Hand in Hand gehe mit der verhältnissmässigen Kleinheit des Raumes, den die

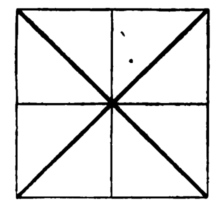
Aufmerksamkeit auf einmal umspannt; dass innerhalb dieses kleinen Raums des deutlichen Sehens die vorhandenen Doppelbilder aus oft besprochenen Gründen nicht stören noch stören können; dass, wenn die Aufmerksamkeit den Ort wechselt, die Augenstellung sich unwillkührlich diesem Wechsel anschmiegt, sodass unter gewöhnlichen Verhältnissen das, was man eben betrachtet, auch meistens wirklich im Horopter oder ihm sehr nahe liegt; dass über eine gewisse Entfernung hinaus die Incongruenz der Netzhautbilder für die Wahrnehmung unwesentlich wird, dass aber auch beim Nahesehen, selbst bei ruhigster Fixation, Tausende von Doppelbildern im Wettstreite der Sehfelder untergehen oder stereoskopisch verschmolzen werden und endlich, dass jeder geübte Beobachter, wenn er die nöthigen Cautelen gewissenhaft anwendet, die der Theorie nach zu erwartenden Doppelbilder unter passenden Umständen bis zu einer gewissen natürlichen Grenze wirklich sehen kann, dass also die Theorie der Identitätslehre, wenn man nur die nöthigen Umstände herzustellen weiss, sich wirklich durch den Versuch bestätigt.

§. 44.

Der zweite Grund, den Nagel gegen die Identitätslehre aufstellt, besteht in der Behauptung, dass man mit identischen Stellen doppelt sehen könne. Zum Beweise führt er zuerst den Wheatstone-schen Versuch an, den ich oben als einen Beweis für die Identität analysirt habe. Eine Abänderung dieses Versuchs beschreibt Nagel S. 81 folgenderweise:

»Ich habe den Wheatstone'schen Versuch, da er doch einmal Missdeutung erfahren hat, in eine Form zu bringen gesucht, die einen unanfechtbaren Beweis gegen die Identität liefert, die in aller Strenge zeigt, dass zwei Bilder, welche auf die Stelle des directen Sehens fallen, doppelt gesehen werden können.

In diesen Figuren sind alle schwachen Linien vollkommen congruent, die starken aber nicht. Stereoskopisch sieht man die aus schwachen Linien bestehende Figur in der Ebene des Papiers liegen. Die starken aber, wie die Spitze eines Octaeders nach hinten hervorragen. Obgleich die Mittelpunkte des schrägen Kreuzes links und des geraden rechts auf sogenannte identische Netzhautpunkte fallen, und zwar, wenn man sie fixirt, auf die Stellen des directen Sehens, so werden sie dennoch an verschiedenen Orten gesehen, der letztere in der Ebene des



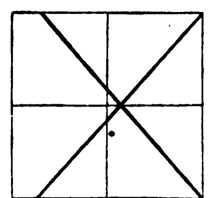
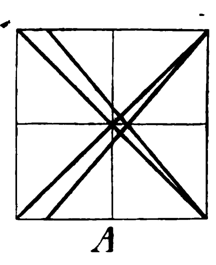


Fig. 46.

Papiers, der erstere weit hinter dieser Ebene und etwas zur rechten Seite: ein Resultat, das sich durch die Identitätslehre in keiner Weise erklären lässt.«

Wird dieser Versuch unter allen den Cautelen angestellt, die ich beim WHEATSTONE'schen ausführlich erörtert habe, so überzeugt man sich bald, dass nur der Wechsel des Fixationspunktes im Verein mit dem Wettstreite der Sehfelder den Autor zu seiner Ansicht verleitet hat. Je nachdem im Sammelbilde die feinen Linien des Quadrates oder die starken des liegenden Kreuzes verschmelzen, erhalte ich bei fester Fixation und so lange nicht der Wettstreit der Sehfelder eben ein Doppelbild zerstört, die Ansicht A oder B der folgenden Fig. 47.



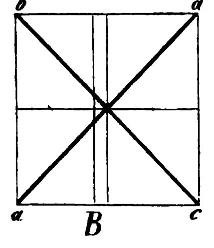


Fig. 47.

Bei A ist eigentlich nichts stereoskopisch verschmolzen, wohl aber bei B, an dem ich freilich nicht alle Doppelbilder angegeben habe, die ich an ihm wahrzunehmen vermag; denn wie das Verschmelzungsbild in B dargestellt ist, erscheint es mir nur bei flüchtiger Beobachtung; bei strenger Sorgfalt sehe ich nicht nur die Seiten ab und cd doppelt, sondern es gelingt mir auch nicht einmal die starken Linien ad und bc in ihrem ganzen Verlaufe gleichzeitig zu verschmelzen. Leise Schwankungen des Blickes vermögen dies indess leicht

und geben mir dann ein aus der Papierebene heraustretendes Sammelbild der schrägen Kreuze, welches *B* auf das Papier projicirt darstellt; die Doppelbilder der Seiten *ab* und *cd* werden, wenn man die Mitte des schrägen Kreuzes fixirt, ausserordentlich leicht übersehen. Gläser und Apparate soll man auch bei diesem Versuche nicht zu Hülfe nehmen; man erhält dann meist keine reinen Resultate. Ich analysire den Versuch nicht bis in seine letzten Einzelheiten, weil ich dabei auf dasselbe zurückkommen müsste, was ich schon beim Wheatstone'schen Versuche erläuterte, und weil, wer mir oben gefolgt ist und beigestimmt hat, dies folgerichtig auch bei diesem Versuche thun muss, wer es aber dort nicht gethan, hier um so weniger für meine Ansicht zu gewinnen sein dürfte, als der Versuch noch mehr Uebung erfordert, als der Wheatstone'sche.

§. 45.

Der dritte schon von Wheatstone hervorgehobene Grund Nagel's gegen die Identität ist die stereoskopische Verschmelzung von Netzhautbildern, die auf nicht identischen Stellen liegen. Eine ausführliche Besprechung des stereoskopischen Sehens gedenke ich später zu geben. Aber schon das beiläufig Gesagte genügt, um Nagel's Einwurf zu entkräften. Die blosse Thatsache, dass nur dasjenige, was wenigstens auf nahezu identische Stellen fällt, einfach gesehen werden kann, beweist, dass die relative Lage des Bildes auf der Netzhaut, nicht der Durchschnittspunkt der Richtungslinien im äussern Raume das Wesentlichste beim Einfachsehen ist. Denn die zwei Richtungslinien eines beiden Augen sichtbaren Punktes schneiden sich auch dann, wenn die betreffenden Netzhautbilder die differenteste Lage haben, und wenn es nur auf diese Schneidung ankäme, so müsste man überhaupt Alles einfachsehen, und die Erklärung der nun einmal nicht wegzuläugnenden Doppelbilder würde ein Problem sein, dessen Lösung Jedem ebenso entschieden misslingen würde, als es Nagel misslungen ist. Wie weit die Feinheit der Unterscheidung zweier nahezu identisch liegender Bilder bei absolut fester Fixation gehen würde, ist noch nicht untersucht. Ich kann jedoch schon jetzt behaupten, dass ich an feinen stereoskopischen Linearzeichnungen fast immer die nicht identisch abgebildeten Theile geson-

dert wahrnehmen kann, und dass die meisten der in den Abhandlungen über stereoskopisches Sehen gegebenen Figuren für mich zur Erzeugung eines stereoskopischen Bildes ganz unbrauchbar sind; immer sehe ich das Meiste doppelt, und nur absichtliche Wanderungen des Blickes verschaffen mir eine stereoskopische Anschauung. Je grösser die Uebung und Vorsicht, desto leichter die gesonderte Wahrnehmung der nicht ganz identisch liegenden Eindrücke. Doppelbilder übersehen, ist unendlich leicht; sie wahrnehmen unter Umständen ausserordentlich schwer. Wo aber auch die Grenzen gesonderter Wahrnehmung nahezu identisch gelegener Bilder sein mögen, der Einwurf NAGEL's ist offenbar darum kein Grund gegen die Identität, weil Niemand behauptet hat, dass dieselbe eine absolute und mathematisch genaue sei, ja sogar allgemein zugegeben wird, dass auch das nur annähernd identisch Liegende meist verschmolzen werden könne. Dass aber, und hierauf kommt es ja lediglich an, die Bilder in ihrer Lage über eine gewisse Grenze hinaus nicht differiren dürfen, giebt NAGEL selbst zu und erkennt folglich die Identität innerhalb dieser Grenze an. Mehr ist hier nicht nöthig. Die feinere Ausarbeitung der Identitätslehre, die Bestimmung ihrer natürlichen Grenzen, die Erforschung ihrer anatomischen Gründe u. s. w. ist eine Sache für sich. Hier gilt es nur, die Lehre im Grossen und Ganzen aufrecht zu erhalten und die angeblichen Gegengründe zu entkräften.

Was NAGEL sonst noch gegen die Identitätslehre erwähnt, ist unwesentlich und er selbst legt darauf geringeres Gewicht, als auf die erwähnten Gegengründe. Es betrifft entweder Punkte, die schon JOH. MÜLLER kannte und bei der Darstellung seiner Theorie bereits mit eingerechnet hat, oder pathologische Erfahrungen, die ich hier durchaus unberührt lasse, theils, weil sie an sich d. i. ihrem Inhalte nach streitig sind, was durch die Discussion nicht ausgeglichen werden kann, theils weil ich sie, soweit sie anerkannte Thatsachen betreffen, bei Besprechung des »Augenmuskelsinns« zu erwähnen gedenke. —

Wundt's Angriff auf die Identitätslehre.

§. 46.

In seinen »Beiträgen zur Theorie der Sinneswahrnehmungen« (IV. Abtheil. Ueber das Sehen mit zwei Augen. HENLE und PFEUFER's Zeitschr. f. rat. Med. III. Reihe. XII. Bd. 1861) sagt WUNDT (S. 249):

»Man bringe in jedes Gesichtsfeld zwei verticale Parallellinien von etwas ungleicher Distanz, *a*, *b* und *a' b'*, Fig. 48. Zwischen die Linien *a' b'* in *r*, welche die weitere Entfernung haben, ziehe man dann eine

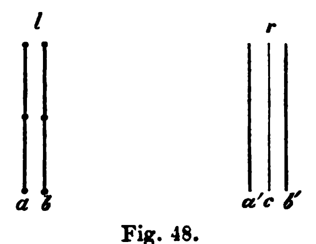


Fig. 48.

dritte Linie *c*, die von *a'* ebenso weit entfernt ist als *b* von *a*. Diese Linie *c* ziehe man aber schwächer als die andern, dadurch erhöht man die Neigung zur stereoskopischen Vereinigung der stärker gezogenen Linien. Fixirt man nun einen *a*, *a'* entsprechenden Punkt, so scheint die vereinigte Linie *b*, *b'* hinter der Ebene des Papieres zu liegen, *c* aber erscheint getrennt von *b*, *b'* und behält denselben Ort, den es im getrennten Bild zu *a*, *a'* einnimmt. Da nun offenbar bei der Vereinigung beider Zeichnungen *c* mit *b* auf correspondirende Netzhautmeridiane fällt, so haben wir hier einen Fall, wo mit correspondirenden Netzhautstellen doppelt gesehen wird. Sobald übrigens die stereoskopische Täuschung aufhört, und alle Linien in die Ebene der Zeichnung treten, so fällt auch *b* mit *c* zusammen, und *b'* wird getrennt gesehen.«

Mir ist es ganz unmöglich, zwei Strichpaare von so verschiedener Distanz stereoskopisch zu verschmelzen, selbst wenn ich meinen Blick

hin und her werfe. Ueberhaupt wird bei genügender Uebung, sorgsamer Beobachtung und Anwendung der nöthigen Cautelen kaum der Irrthum entstehen können, zwei Strichpaare von so verschiedener Distanz wie *a b* und *a' b'* der Wundt'schen Figur könnten anders als successiv durch Veränderung des Fixationspunktes stereoskopisch verschmolzen werden. Die nöthigen Cautelen aber sind folgende: Erstens darf man sich nicht mit einer flüchtigen Beobachtung begnügen. Je flüchtiger nehmlich man beobachtet, desto subjectiver wird die gewonnene Anschauung, d. h. desto mehr ist sie ein Ergebniss unsrer nach der Häufigkeit früherer ähnlicher Fälle, d. h. also nach der eben mächtigsten Analogie mechanisch arbeitenden Einbildungskraft, desto weniger also ein Ergebniss des gebotenen sinnlichen Materials. Denn um dasselbe richtig in seinen Einzelheiten aufzufassen, bedarf es einer gewissen Zeit. Je kürzer der Eindruck auf die Netzhaut, je geringer die Aufmerksamkeit, um so mehr ist die resultirende Anschauung subjectiv, um so weniger objectiv bedingt.

Zweitens müssen die Augen für die Strichpaare richtig angepasst sein. Darum ist es zweckmässig, den Wundt'schen Versuch mit vorn gekreuzter Blickrichtung zu machen; bei hinten gekreuzter oder gar paralleler Blickrichtung stellt sich, wie bekannt, das Auge unwillkührlich für die Ferne ein, die Bilder werden verwischt und der stereoskopische Eindruck ist nicht nur leichter möglich, sondern auch leichter falsch zu deuten, Gläser aber trüben die Exactheit der Beobachtung und sind wo möglich zu meiden.

Drittens muss man, besonders wenn man im Fixiren nicht sonderlich geübt ist, das stereoskopische Bild in bestimmten einzelnen Augenblicken auffassen und sich gewissenhaft Rechenschaft geben, wie es in jedem dieser Augenblicke erschien; man darf nicht, wie gewöhnlich geschieht, die successiv eintretenden Verhältnisse des Bildes zu einem Gesammtergebniss zusammenschmelzen und glauben, ein solches aus dem Gedächtniss resultirendes Mittelergebniss sei in irgend welchem bestimmten einzelnen Augenblicke wirklich vorhanden gewesen.

Viertens muss man sich, um so mehr, je unsicherer man in der Fixation ist, die nöthigen Marken an gewisse Theile des Bildes machen, damit man in jedem beliebigen Augenblicke controliren kann, welche Theile des Bildes verschmolzen worden sind, auch ob

man nicht einen nur einäugig gesehenen Strich für einen binocular verschmolzenen nimmt. Zu diesem Zwecke habe ich die Striche *a* und *b* mit Marken versehen.

Mit diesen Cautelen angestellt wird der Versuch auch bei viel geringerem Distanzunterschiede der Strichpaare nie zu dem von WUNDT verfochtenen Irrthume führen können. Uebrigens kann man den Mittelstrich *c* im Vergleich zu den andern viel feiner machen, ohne dass der Erfolg sich ändert. Bei sehr geringer Distanzverschiedenheit der Strichpaare *ab* und *a'b'* erfordert die Controle des Versuchs noch grössere Aufmerksamkeit und Uebung. Stets aber ist das Endergebniss, dass man unter allen Umständen diejenigen Striche verschmilzt, die sich im Sinne der Identität am nächsten liegen. Liegen *a* und *a'* auf identischen Stellen (was, wenn man ihr verschmolzenes Bild fest fixirt, immer wahrscheinlich, obgleich nicht unbedingt nöthig ist, da sie noch verschmolzen werden können, wenn sie sehr annähernd auf identischen Stellen liegen), so verschmilzt stets *b* mit *c*, nie mit *b'*, denn erstere beide liegen auf identischen Stellen, oder *b* liegt wenigstens im Sinne der Identität stets näher bei *c* als bei *b'*; *b'* wird dann nur einäugig gesehen. Dabei ist wohl zu beachten, dass dieser einäugig gesehene dritte Strich *b'* von Zeit zu Zeit in Folge des Wettstreites der Sehfelder verschwindet, indem das Weiss, welches sich im andern Auge an der, mit dem Strichbilde *b'* identischen Stelle befindet, zeitweise den Strich übertönt. Dann sieht man nur zwei Striche, nehmlich die verschmolzenen Strichpaare *ab* und *a' c*. Verschmilzt man *a* mit *c* und fixirt das vereinigte Bild, so verschmilzt *b* mit *b'*; denn beide liegen annähernd identisch, insofern die Distanz *ab* wenig grösser ist, als die Distanz *cb'*. Verschmilzt man endlich *b* mit *b'* und fixirt ihr Bild, so verschmilzt *c* mit *a* aus demselben Grunde, nie aber *a* mit *a'*, welches letztere nur einäugig daneben gesehen wird. In allen diesen Fällen wird also in jedem beliebigen Augenblicke nur mit identischen oder sehr annähernd identischen Stellen einfach gesehen, nie mit identischen doppelt.

Verkleinert man die Distanz der beiden Striche *a'* und *b'* so weit, dass auch der geübte Beobachter sie stets mit *a* und *b* stereoskopisch verschmelzen sieht, giebt man also dem Strichpaare *a'b'* eine nur sehr wenig grössere Distanz als dem Strichpaare *ab*, so wird es immer

noch möglich sein, einen dritten feinen Strich *c* neben *b'* anzubringen, der von *a'* genau soweit absteht, als *b* von *a*. Auch hat vielleicht WUNDT vorausgesetzt, dass Jeder sich in dieser Weise die Distanz von *a'* und *b'* soweit abändert, bis ihm der stereoskopische Eindruck auch bei ruhiger Fixation möglich ist. Aber das Resultat ist darum kein anderes. Fixirt man das verschmolzene Bild von *a* und *a'* ganz fest, so sieht man den mit einer Marke versehenen Strich *b* stets neben *b'* liegen und nicht letzteren, sondern *c* decken. Weil aber die leiseste Blickschwankung *b* mit *b'* zu verschmelzen vermag, was sofort den stereoskopischen Eindruck der Figur bedingt, so wird der letztere scheinbar ununterbrochen fortbestehen. Fixirt man nun nicht *aa'*, sondern das verschmolzene Bild von *b* und *b'*, so fallen die beiden letzteren auf identische Stellen, *a* und *a'* dagegen nicht; aber *a* und *a'* erscheinen gleichwohl stereoskopisch verschmolzen, weil ihre Lage zu wenig different ist, als dass man ihre Bilder, besonders bei ihrer excentrischen Lage, noch sondern könnte. Hierbei wird also zwar mit nahezu identischen Stellen einfach gesehen, was eine bekannte Thatsache ist, nirgends aber mit identischen doppelt.

Der zweite Grundversuch WUNDT's, welcher die Identitätslehre als unhaltbar erweisen soll, ist der von WHEATSTONE gegebene und oben bereits analysirte. Beide Versuche sind nach der gegebenen Erörterung Bestätigungen der Identitätslehre.

§. 47.

Einen weiteren Beweis dafür, dass man mit identischen Stellen doppelt sehen könne, glaubt WUNDT in einem Versuche BAUM's zu finden, der (S. 208) folgenderweise besprochen ist:

»BAUM bringt eine gerade Linie, z. B. die schmale Kante eines Lineals, so vor das Gesicht, dass dieselbe mitten auf der Halbirungslinie der Augenmittelpunkte senkrecht steht; wird der Endpunkt des Lineals fixirt, so erscheint dasselbe in verkehrten Doppelbildern, welche an diesem Punkt sich berühren. Wird dann das Lineal um sein an das Gesicht gestemmtes Ende gedreht, während die Convergenzstellung unverändert beibehalten wird, so entfernen sich die Enden der Doppelbilder von einander und lassen eine Spalte zwischen sich. Da nun ein Kreis, welcher mit der Entfernung des fixirten Punktes von der Nasenwurzel als Radius beschrieben wird, jedenfalls noch grösser ist, als der Horopterkreis, da also der Durchschnittspunkt der Linie von dem Ende derselben an sich dem Auge im Gegentheil hätte nähern müssen, statt sich

zu entfernen, so schloss BAUM, dass der Horopter nicht in der von MÜLLER construirten Kreislinie, sondern hinter derselben gelegen sei..... Die Construction des Horopterkreises, der durch den Fixationspunkt und die Augenmittelpunkte geht, ist zweifellos richtig, das Bild jedes Punktes, der auf diesem Kreise gelegen ist, muss in beiden Augen auf correspondirende Netzhautstellen fallen, aber die BAUM'sche Beobachtung, dass unter von ihm angegebenen Versuchsbedingungen ein solcher Punkt nicht einfach, sondern doppelt gesehen wird, ist ebenso zweifellos richtig.«

Hierauf giebt der Autor eine theoretische Ableitung jenes angeblichen Versuchsergebnisses und entwirft die hiezu nöthige geometrische Construction unter der Voraussetzung, dass der beobachtete Stab oder dergl. sich auf den horizontalen Trennungslinien abbilde. Dies kann nur dann der Fall sein, wenn der beobachtete Stab in diejenige Visirebene gebracht wird, in welcher die horizontalen Trennungslinien bei beliebiger symmetrischer Convergenzstellung in der Visirebene bleiben, wenn also die Augen sich in einer Secundärstellung (MEISSNER) befinden. MEISSNER gab die Neigung der Visirebene der Secundärstellungen gegen den Horizont bei aufrechtem Kopfe auf 45° an, WUNDT auf 40°, v. RECKLINGHAUSEN auf 35°, bei mir beträgt sie noch weniger. Der aufrechte Kopf ist freilich ein unsichrer Ausgangspunkt für die Gradmessung, aber es kann bei Bestimmung dieser Visirebene überhaupt nicht auf mathematische Genauigkeit, sondern nur auf eine ungefähre Angabe abgesehen sein. Uebrigens sind hier, beiläufig gesagt, die individuellen Schwankungen sehr gross, und es kommt viel darauf an, ob Einer seine Augen mehr für die Ferne oder mehr für die Nähe gebraucht hat; letzteren Falls wird im Allgemeinen seine Visirebene der Secundärstellungen stärker gegen den Horizont geneigt sein, als ersteren Falls.

Was nun den BAUM'schen Versuch betrifft, so ist erforderlich, ihn zunächst in der erwähnten Visirebene, also bei einer Secundärstellung zu machen, weil dann die Ergebnisse am reinsten sind. Deshalb hat auch WUNDT ihn für diese Ebene geometrisch entwickelt, ihn dann aber leider nicht auch in dieser Ebene angestellt, wie aus dem Folgenden hervorgehen wird. Mit der theoretischen, geometrischen Ableitung, welche der Autor giebt, bin ich übrigens keineswegs einverstanden, was ich jedoch hier, als unwesentlich, nicht weiter auseinandersetze. Es genügt hier, den Versuch in der angegebenen Visirebene zu wiederholen.

Zuerst ist schon schwierig, die scharfe Kante (und sie muss möglichst scharf sein) eines Lineals oder sonstigen kantigen Stabes in jene Visirebene zu bringen. Es müssen die Doppelbilder der Kante be jedem beliebigen Convergenzgrade genau in einer Ebene, d. h. der Visirebene selbst bleiben und womöglich sich so genau decken, dass man sie kaum mehr von einander gesondert wahrnehmen kann. (Vgl. Heft I. §. 13). Stellt man sich bei dem Versuche vor ein Fenster oder eine Wand, so ist es zweckmässig, den Fixationspunkt auf denselben anzubringen (ein sogenannter idealer Fixationspunkt, wie ihn Meissner (Beiträge zur Phys. des Sehorgans §. 30) erwähnt, ist ganz verwerflich), und sodann das eine Ende der Linealkante zunächst an diesen Fixationspunkt zu stemmen. Endlich soll man noch durch Fixation einer vor dem Ende gelegenen Stelle der Kante prüfen, ob auch das Doppelbild sich symmetrisch schneidet, woran man erkennt, ob die Kante wirklich in der verlängerten Längsmittelebene des Körpers (senkrecht auf der »Grundlinie«) liegt. Dreht man nun das Lineal in der beschriebenen Weise zur Seite, so hat man genau darauf zu halten, dass der Fixationspunkt nicht dem einen Auge verdeckt wird. Da er dicht über der Kante erscheinen muss, wenn die Beobachtung exact werden soll, so genügt eine kleine Schwankung des Lineals nach oben, ihn dem einen Auge zu verdecken. Sobald dies aber geschieht, rollt das andere Auge nach aussen, da die Convergenz stets etwas Unbequemes ist; der Kreuzungspunkt der Augenaxen rückt sofort mit hinaus und das Lineal erscheint in einem Doppelbilde, dessen obere Enden von einander gewichen sind und sich also nicht mehr berühren, viel weniger durchschneiden können. Dann hat man also den von Baum angegebenen Erfolg. Ich glaube selbstverständlich nicht, dass sich ein erfahrener Forscher hierdurch könne täuschen lassen; vielmehr giebt es noch einen versteckter liegenden Grund, der ein irriges Ergebniss des Versuchs erschleicht. Hält man nehmlich den Fixationspunkt wirklich mit beiden Augen*) fest und beobachtet man auf einem abstechenden Hintergrunde, ohne welchen sich der Versuch überhaupt kaum anstellen lässt, so sind in den weitaus meisten Fällen die Beleuchtungsverhältnisse der Art,

*) Manche haben die Gewohnheit, nur mit einem Auge zu fixiren; sie müssen natürlich irrige Resultate erhalten.

dass das Ende des Lineals dem einen Auge heller erscheint, als dem andern, da das Lineal jedem Auge eine andere Seite zukehrt. Die Folge ist, dass im einen Netzhautbilde das Linealende sich schroffer vom Hintergrunde abhebt, als im andern. Nun ist bekannt, dass abstechende Contouren des einen Netzhautbildes einen Theil der sie umgebenden Grundfärbung mit in das gemeinsame »Gesichtsfeld« hinüber nehmen. Diese Grundfärbung aber ist in der Umgebung eines dunklen Contours in Folge des Contrastes viel heller, als in den übrigen Theilen. Hebt sich nun das Linealende im einen Netzhautbilde schroffer vom Hintergrunde ab, als im andern, so nimmt es auch eine hellere Umgebung ins gemeinsame Sehfeld hinüber, und fällt hierbei der weniger abstechende Contour des andern Trugbildendes in die nächste Nachbarschaft jenes stark abstechenden Contours, so wird er von der hellen Umgebung des letzteren übertönt. Man erhält eine Anschauung, wie sie Fig. 49 versinnlicht. Recht klar erkennt man das erörterte Verhältniss auch an folgendem Versuche: Man bringe die beiden Striche der Fig. 50 binocular zur Deckung,

Fig. 49.



Fig. 50.

der Art, dass die beiden kleinen Vertikalstriche zu einem verschmolzen erscheinen; dann erhält man eine Anschauung, wie sie Fig. 51

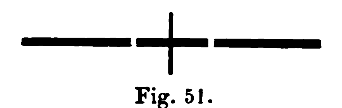


Fig. 51.

giebt. Der lange Strich erscheint zweimal unterbrochen, weil die scharf abstechenden Enden des linksäugigen sowohl als des rechtsäugigen Striches eine so lichte Grundfärbung ins gemeinsame Sehfeld bringen, dass der benachbarte Theil des schwarzen Striches übertönt wird. Dieses Uebertönen tritt im indirecten Sehen noch leichter ein, als im directen, weil im ersteren überhaupt nur das Auffälligste wahrgenommen wird, und ein einziger sehr abstechender Contour oft alles Benachbarte der Beobachtung unzugänglich macht. Dazu kommt bei

unserm Versuche, dass eine bestimmte Convergenzstellung den Augen auf die Dauer sehr unbequem ist, und dass von Zeit zu Zeit das eine oder andere Auge in eine schwächere Convergenzstellung zurückgeht, wobei die Trugbilder des Linealendes wirklich auseinander weichen müssen. Ist dies auch nur einmal unwillkührlich geschehen, so ist man nachher sehr geneigt, das in jenem Augenblicke bestimmt Gesehene auf den Zustand bei ruhiger Fixation zu übertragen, bei welcher die indirect gesehenen Trugbildenden sich annähernd gleich ausnehmen. Endlich ist noch zu bedenken, dass in Folge des Wettstreites der Sehfelder das eine oder andere Trugbild des Linealendes zeitweise ganz untergeht, um so leichter und länger, je schwächer es im Vergleich zum andern ist; während der übrige Theil des Trugbildes bestehen bleibt, weil die im andern Auge identisch gelegene Grundfärbung nicht so intensiv wirkt, wie in der Nähe des schroff abstechenden Endcontours. Dann tritt also an Stelle des Trugbildendes die dem andern Auge zugehörige Grundfärbung, und es hat den Anschein, als liege zwischen beiden Trugbildenden ein heller Zwischenraum; denn es liegt sehr nahe, beim indirecten Sehen das in das Hell der Grundfärbung eintauchende scheinbare Ende des einen Trugbildes als sein wirkliches aufzufassen, und den lichten Zwischenraum (Fig. 49) als Folge eines Auseinanderweichens der Trugbilder anzusehen. Alle diese Umstände erklären es leicht, wie Baum und Meissner ein irriges Versuchsergebniss erhalten konnten. Ich habe mich jedoch oft und fest überzeugt, dass die wahren (nicht blos vermeintlichen) Enden der Trugbilder bei Einhaltung aller angedeuteten Cautelen und bei sorgfältiger, ruhiger und dauernder Beobachtung nie auseinanderweichen, und es ist mir in günstigen Fällen oft möglich gewesen, die Durchschneidung beider Trugbilder sicher wahrzunehmen und dabei das Trugbildende des rechten Auges ein wenig rechts vom Trugbildende des linken Auges zu sehen, wie dies in Fig. 49 dargestellt ist.

§. 48.

Wundt hat übrigens den Versuch gar nicht bei Secundärstellung des Doppelauges gemacht, wie folgende Stelle (S. 211) beweist:

»Es sei in Fig. 52 o der Ort des linken, o' des rechten Auges, die beobachtete Linie sei in der in der vorigen Figur*) gezeichneten Lage. Das Doppelbild des linken Auges ist dann $o'g'$, das Doppelbild des rechten Auges og, beide Doppelbilder sind in der der beobachteten Linie entsprechenden Richtung geneigt, aber die Neigung von $o'g'$ ist stärker als die von og, so dass der Endpunkt g' nach links von dem Endpunkt g zu liegen kommt, die Punkte c und c'**), die in einer auf oo' senkrechten Richtung liegen, sind die Bilder correspondirender Netzhautstellen. — Man sieht diese Bilder deutlich hinter einander liegen, weil c und c' sich nicht decken, indem og und $o'g'$ wegen der Drehung des Auges nicht, wie in der Construction vorausgesetzt ist, in e i n e r Ebene liegen, sondern etwas über einander geschoben erscheinen.«

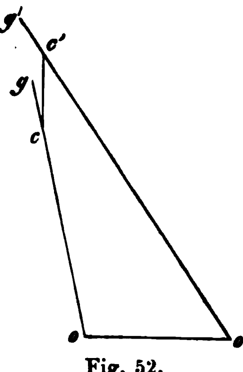


Fig. 52.

Daraus geht also hervor, dass WUNDT den Versuch nicht unter den Verhältnissen angestellt hat, die er bei der Beurtheilung des Versuchs voraussetzte, obwohl sich der Versuch sehr wohl unter diesen Verhältnissen, d. h. also bei Secundärstellung machen lässt, wenn auch nicht mathematisch genau (weil streng genommen der Fixationspunkt stets dem einen Auge durch das Lineal verdeckt sein würde), so doch innerhalb so enger Fehlergrenzen, wie sie hier unwesentlich sind. Man kann zweckmässig statt des Lineals einen feinen Draht oder einen Faden benützen. Fixirt man dessen Ende unter den angegebenen Vorsichten und in der angegebenen Visirebene, so berühren sich die vorderen Enden der beiden Trugbilder, sodass letztere als ein zusammenhängender quer vor dem Gesichte liegender Draht oder Faden erscheinen (vergl. Heft I §. 13), dreht man dann bei unveränderter Fixation den Draht innerhalb der Visirebene in beschriebener Weise seitwärts, so müsste nach BAUM und MEISSNER sein Doppelbild in der Mitte zerreissen und ein kleiner Zwischenraum zwischen den beiden Trugbildenden sichtbar werden. Dies ist aber nie der Fall, sofern man es versteht, sich durch die erwähnten Hel-

*) D. h. in einer innerhalb der horizontalen Visirebene mit dem vordern Ende nach links gerichteten Lage.

**) Diese Punkte sollen die Bilder desjenigen Punktes der Linealkante darstellen, welcher von der MÜLLER'schen Horopterkreislinie durchschnitten wird.

ligkeitsdifferenzen der benachbarten Grundfärbung und den Wettstreit der Sehfelder nicht täuschen zu lassen.

Wiederholt man nun den letztern Versuch mit horizontaler oder sonst einer Visirebene, welche bei Convergenzstellung eine Neigung der horizontalen Trennungslinien zur Visirebene bedingt, so werden allerdings, wie WUNDT sagt, die beiden Trugbilder nicht in einer Ebene, sondern etwas übereinandergeschoben erscheinen können. Dann wird sich aber auch der Punkt c, welcher zuvor auf der Horopterkreislinie lag und sich auf identischen Stellen abbildete, nicht mehr auf einer Horopterkreislinie befinden können, weil es keine solche mehr giebt, sobald die horizontalen Trennungslinien nicht mehr in einer d. h. in der Visirebene liegen. Man sieht dann also c doppelt, ein Trugbild über dem andern, weil sich c nicht mehr auf identischen Stellen abbildet. Ob man dabei das eine Trugbild ferner als das andere sieht, ist für die Identitätslehre ganz gleichgültig; das ist Sache der Tiefenauslegung. Für die Identitätslehre kommt es nur auf das Nebeneinander an. WUNDT nennt in der zuletzt angeführten Stelle die Punkte c und c' der Fig. 51 »die Bilder correspondirender Netzhautstellen« und fährt fort »man sieht diese Bilder deutlich hinter einander liegen, weil c und c' sich nicht decken, indem og und $o'g'$ wegen der Drehung des Auges nicht in einer Ebene liegen, wie in der Construction vorausgesetzt ist.« Durch diesen Zusatz annullirt der Autor also, was er kurz zuvor gesagt; denn sobald die horizontalen Trennungslinien aus der Visirebene gedreht sind, kann auch der Punkt c sich nicht mehr auf identischen Stellen abbilden. Setzen wir diesen wahrscheinlich nur einer Flüchtigkeit der Darstellung zuzuschreibenden Fehler bei Seite, so scheint der Sinn des Ganzen folgender zu sein: Wenn, wie vorausgesetzt wurde, die Augen eine Secundärstellung gehabt, und die horizontalen Trennungslinien also in der Visirebene gelegen hätten; wenn also ferner eine Horopterkreislinie existirt und den Faden durchschnitten hätte, so würde der Durchschnittspunkt sich zwar auf identischen Stellen abgebildet haben, gleichwohl aber nicht einfach, sondern in zwei hinter einandergelegenen Bildern erschienen sein (»weil« wie WUNDT S. 211 sagt, »beide Augen ihn in verschiedene Entfernungen projiciren«). Wir haben gesehen, dass dies, auch wenn die eben erwähnten Bedingungen erfüllt sind, nicht nothwendig der Fall ist. Wäre es aber

auch der Fall, so würde dies der Identitätslehre nicht zuwider laufen, weil es nur darauf ankommt, ob zwei auf identischen Stellen gemachte Eindrücke sich decken und eine einfache (wenngleich im Wettstreite der Sehfelder wechselnde) Farbenempfindung geben, nicht aber darauf, ob diese Farbe in raschem Wechsel näher und ferner vorgestellt wird, d. h. bald auf einen näheren, bald auf einen ferneren Trugbildcontour bezogen wird, wie ich dies unten §. 49 und §. 64 ausführlicher erörtern werde. Bei unserm Versuche mit dem Drahte oder Faden kommt dies indess nicht in Betracht, weil man dabei kaum etwas Weiteres wahrnimmt, als dass die beiden Trugbilder mit den vordern Enden zusammenfallen, und nur unter sehr günstigen Umständen die Durchkreuzung ihrer vorderen Endstücke wirklich unterscheiden kann (vergl. Fig. 49). Stellt man aber den Versuch so an, wie Wundt es gethan hat, d. h. mit zur Visirebene geneigten Trennungslinien, so können allerdings die beiden dann völlig gesonderten Trugbilder mit ihren vorderen Enden in verschiedener Ferne erscheinen; aber um ein Doppeltsehen mit identischen Stellen handelt es sich dann noch weniger, weil kein einziger Punkt des Fadens oder Drahtes auf identischen Stellen abgebildet ist. Das Wesentliche bei dem Versuche ist, ob das Ende g' des linksäugigen Trugbildes auch links vom Ende g des rechtsäugigen erscheint. Wundt hebt dies (S. 212), um die Horopterkreislinie zu vertheidigen, selbst hervor: »die Neigung von $o'g'$ (Fig. 52) ist stärker als die von og, sodass der Endpunkt g' nach links von dem Endpunkte g zu liegen kommt.« Wenn nun andrerseits die nähern Theile des rechtsäugigen Trugbildes links erscheinen, die entsprechenden des linksäugigen rechts, so folgt daraus, dass beide Trugbilder sich kreuzen und dass sie sich durchschneiden müssten, wenn es nicht in Folge der »Drehung der Augen« unmöglich geworden wäre, dass irgend welcher Punkt des Drahtes auf identischen Stellen abgebildet werde, und wenn nicht aus demselben Grunde ein Trugbild über das andere hinwegliefe. Nicht also ein Doppeltsehen mit identischen Stellen tritt ein, wenn man den Versuch in der Wundt'schen Weise anstellt, sondern ein Sehen in verschiedenen Entfernungen mit Netzhautstellen, welche nahe übereinander liegen.

§. 49.

WUNDT fügt (S. 212) noch hinzu, dass es, wie ich schon oben bemerkte, nöthig sei, den Fixationspunkt gewissenhaft festzuhalten, und nicht nach dem Endpunkte der Linealkante seitwärts hinzuschielen; lasse man dies ausser Acht und fixire unwillkührlich das Ende (g) des seitwärts gedrehten Lineals, so erscheine natürlich die ganze Kante in »verkehrten« Doppelbildern und auch der Punkt g (Fig. 52) liege dann »rechts« (soll wohl heissen links) von g':

»Man kann sich hiervon leicht überzeugen, wenn man absichtlich den Punkt g fixirt, man wird es auch bei strengster Fixation nie dahin bringen, den Punkt g einfach zu sehen, bei schärfster Fixation erscheint derselbe immer noch in hinter einander gelegenen Doppelbildern, sowie man aber in der Fixation etwas nachlässt, so weichen diese auch in transversaler Richtung aus einander. Auch hier haben wir also, wie man beiläufig sieht, einen Fall, wo trotz des Sehens mit correspondirenden Netzhautstellen doppelt gesehen wird, und wo noch dazu der fixirte Punkt doppelt gesehen wird.«

Nun ist allerdings richtig, dass es schwer fällt, ein sehr zur Seite gelegenes Ding mit beiden Augen sicher zu fixiren, und dass es darum leicht in Doppelbilder zerfällt; es ist ferner richtig, dass wenn dies einmal geschehen, die beiden Trugbilder des Dinges in verschiedenen Entfernungen erscheinen uud zwar deshalb, weil bei seitlicher Lage ein unserm Kopfe nahes Ding dem einen Auge seiner grösseren Nähe wegen ein grösseres Netzhautbild giebt, als dem andern, in welcher Verschiedenheit der Bilder ein hinreichender Grund liegt, sie in verschiedenen Entfernungen zu sehen. Allein es ist sehr wohl möglich, z. B. ein an das Ende eines feinen Drahtes befestigtes Kügelchen auch bei sehr seitlicher Lage auf einige, wenngleich kurze Zeit fest zu fixiren und die beiden Bilder desselben zur Deckung zu bringen. Es erscheint dabei das kleinere Trugbild in der Mitte des grösseren, und hat man einmal schon vor der Vereinigung der Trugbilder die Vorstellung gewonnen, das grössere liege in anderer Entfernung als das kleinere, so kann diese Vorstellung auch fortbestehen, gerade so, wie man auch mit ein und derselben Stelle einer und derselben Netzhaut gleichsam an zwei verschiedenen Orten zugleich sehen kann, sofern das Bild eines kleines Dinges im Zerstreuungskreise eines andern kleinen Dinges erscheint, und zwar so,

dass beide Bilder noch erkennbar sind. Hat man hier aus irgend welchem Grunde die Vorstellung gewonnen, dass das eine Ding näher liege, als das andere, so erscheint es dann auch in der Anschauung so. In diesem Sinne kann man also sehr wohl mit identischen Stellen doppelt sehen; es erscheint dann aber nie etwas zwischen den beiden Bildern, vielmehr liegen beide in derselben Richtung, decken sich in derselben, und man sieht nur eines durch das andere hindurch, sowie man auch durch ein fleckiges Fenster ein Haus sehen kann, ohne dass die halbdurchsichtigen Flecke des Fensters auf dem Hause erscheinen. Man stellt sich dann zwischen denn beiden Bildern des Hauses und des fleckigen Glases einen Raum vor, aber man kann diesen Raum nie anschauen, d. h. mit irgend welcher Farbe erfüllt sehen. Ein ähnliches Verhältniss würde eintreten, wenn sich das Haus im einen und das fleckige Glas auf identischen Stellen des andern Auges abbildete. Solches Doppeltsehen mit identischen Stellen ist natürlich kein Beweis gegen die Identität der Netzhäute. Vergl. hierüber §. 36.

Es sei noch betont, dass WUNDT den BAUM'schen Versuch zunächst nur zu dem Zwecke analysirte, zu beweisen, dass derselbe kein Grund gegen die MÜLLER'sche Horopterkreislinie sei. Da nun aber das Experiment gar nicht das von BAUM angegebene Ergebniss hat, so erweist sich der von WUNDT gemachte Versuch, es mit der Horopterlehre in Einklang zu setzen, von selbst als falsch. Aber abgesehen von dieser praktischen Widerlegung muss ich hervorheben, dass sein Erklärungsversuch sehr Vieles enthält, was zu einer theoretischen Widerlegung herausfordert. Für eine solche würde jedoch hier nicht der geeignete Platz sein. Dasselbe gilt von WUNDT's Auslegung eines zweiten BAUM'schen Versuchs (S. 212 u. ff.), für welche hier ebenfalls nur eine experimentelle Widerlegung versucht werden soll.

§. 50.

Fixirt man einen nahezu in der Visirebene und senkrecht auf der Verbindungslinie der Augencentren (Grundlinie) gelegenen geraden Draht ein Stück vor seinem vordern Ende mit (convergirenden) in Secundärstellung befindlichen Augen, so erhält man zwei sich im Fixationspunkte kreuzende Trugbilder. Dreht man nun unter stren-

ger Beibehaltung des alten Fixationspunktes den Draht in der Visirebene seitwärts, so rückt der Durchschnittspunkt der Trugbilder rasch hinaus. Hieraus folgert Wundt, dass die Trugbilder sich nicht mit Punkten durchschneiden, welche identischen Stellen angehören, dass vielmehr der im Horopter liegende Punkt des Drahtes sich zwar auf identischen Stellen abbildet, seine Bilder aber gleichwohl nicht als Durchschnittspunkt der Trugbilder einfach, sondern vor diesem Durchschnittspunkte doppelt gesehen werden. Im Durchschnittspunkte selbst müssten also dann die Bilder anderer und nicht identischer Netzhautpunkte vereinigt sein.

Soll der Versuch ein brauchbares Ergebniss haben, so muss er mit einem feinen Faden, einer unbeweglichen Spitze als Fixationspunkt, einem abstechenden Hintergrunde und endlich mit allen den Cautelen angestellt werden, die ich bei dem vorigen Versuche erwähnte. Stricknadeln, wie sie Wundt benützte, sind etwas grobe Gegenstände.

Zunächst ist richtig, dass der Durchschnittspunkt der Trugbilder beim Seitwärtsdrehen des Fadens hinausrückt. Den naheliegenden Grund will ich hier nicht ausführlich erörtern, sondern nur darauf hinweisen, dass der Sehwinkel des Fadens bei dessen Bewegung nach der Seite im einen Auge schnell wächst, dass hierdurch die scheinbare Grösse des deutlicher erscheinenden, vor dem Durchschnittspunkte gelegenen Trugbildtheils bedeutend zunimmt, und dass bei dieser scheinbaren Vergrösserung des vorderen Trugbildtheils der Durchschnittspunkt mit hinausgeschoben werden muss; eine Erscheinung, die durch die gesammten übrigen Verhältnisse der Trugbilder noch unterstützt wird. Dies bedarf jedoch darum weiter keiner eingehenden Besprechung, weil sich leicht zeigen lässt, dass der Durchschnittspunkt der Trugbilder wirklich nur dem einen Punkte des Stabes entspricht, welcher in der Horopterkreislinie liegt und sich daher auf identischen Stellen abbildet; wo derselbe erscheint, ob näher oder weiter, ist für die Horopterfrage ganz gleichgültig; für diese kommt es nur darauf an, ob der im Horopterkreise gelegene Fadenpunkt einfach d. h. als Kreuzungspunkt der beiden Trugbilder erscheint. Sucht man nun z. B. mit der feinen Spitze einer Nadel den Durchschnittspunkt der Trugbilder, diesen scheinbaren Ort im wirklichen Raume zu bestimmen, so geht man allerdings zunächst mit der Nadel meist zu weit, d. h. über den Horopterkreis

hinaus, weil man seine Bewegung unwillkührlich für die scheinbare Entfernung des Durchschnittspunktes abmisst. Bis hierher stimmt Alles mit WUNDT's Angaben überein. Achtet man aber jetzt genau auf die Nadel, so gewahrt man sie (bei unverändertem Fixationspunkte) doppelt und führt man sie nun langsam den Faden entlang soweit vor, bis ihre Doppelbilder zusammenfallen, so kann zwar ihr einfaches, im Durchschnittspunkte der Trugbilder liegendes Bild entfernter erscheinen, als der fixirte Punkt, wenn man sich jedoch über den wirklichen Ort der Nadel unterrichtet oder sich noch während des Versuchs von einer zweiten Person davon unterrichten lässt, so erfährt man, dass die Nadel dem Horopterkreise ziemlich nahe liegt. Kleine Abweichungen kommen selbstverständlich nicht in Betracht, da die Trugbilder der Nadelspitze schon (stereoskopisch) verschmelzen, wenn sie noch nicht genau auf identischen Stellen liegen, insbesondere beim indirecten Sehen. Auch muss man den Versuch oft anstellen, da Täuschung ausserordentlich leicht und eine grosse Uebung unerlässlich ist. Zweckmässig bringt man auch einmal die Nadelspitze zunächst vor den Kreuzungspunkt, und schiebt sie von da am Faden hinaus, bis ihre Trugbilder verschmelzen: man wird sehen, dass dies stets am Kreuzungspunkte der Trugbilder geschieht und dass dabei die wirkliche Lage der Nadelspitze im oder nahe am Horopterkreise ist. Leider ist es unmöglich, den Faden wirklich genau in die Visirebene bei Secundärstellung zu bringen, weil dann beide Trugbilder des Fadens sich grösstentheils decken; immer also kann das wirkliche Resultat nur eine Annäherung an das theoretisch abgeleitete sein. Die gewissenhafteste doppeläugige Festhaltung des Fixationspunktes sei nochmals betont; ebenso dass man den Versuch nicht oft hintereinander machen darf, weil die Augen bei starker Convergenzstellung rasch ermüden.

Der beschriebene Versuch ist also ein experimenteller Beweis für die ungefähre Richtigkeit der MÜLLER'schen Horopterlinie; ein Einfachsehen mit nicht identischen Stellen kommt dabei nicht vor, und ebenso wenig ein Nebeneinandererscheinen identisch gelegener Netzhautbilder.

§. 51.

Der letzte Beweis, welchen WUNDT (S. 250) gegen die Identitätslehre anführt, ist folgender:

»Man befestige einen vertikalen farbigen Streifen auf complementärem Grunde, und betrachte denselben mit beiden Augen aus einer Entfernung, welche hinreichend gross ist, dass die Drehung um die Sehaxe nicht in Betracht kommt. Schiebt man dann ein graues Papier so vor, dass es die Ebene, in welcher der Streifen gelegen ist, parallel deckt, so sieht man, wie zu erwarten steht, auf dem grauen Papier das einfache complementäre Nachbild des Farbenstreifens. Schiebt man aber das graue Papier so vor, dass es zu jener Ebene geneigt ist, so sieht man häufig statt des einfachen Nachbildes zwei, die sich im fixirten Punkt kreuzen. Schliesst man das eine oder andere Auge, so erkennt man deutlich die Drehung, die das Nachbild des einzelnen Auges durch die Projection auf die geneigte Ebene erfahren hat. Es gelingt jedoch bei diesem Versuch das Doppelsehen des gemeinsamen Nachbildes mit beiden Augen keineswegs immer, es tritt bei mir am ehesten ein, wenn ich rasch das Papier vorschiebe und scharf fixire: dann sehe ich in den ersten Momenten deutlich das Nachbild als gekreuztes Doppelbild. Es ist aber immer eine Neigung vorhanden, dasselbe zu einem Bild zu vereinigen, und ist diese Vereinigung einmal geschehen, so gelingt es niemals durch längeres Fixiren, dasselbe wieder zu trennen. Aber wenn das Nachbild nicht getrennt gesehen wird, so erscheint dasselbe deutlich stereoskopisch, d. h. es scheint nicht in der Ebene des Papiers zu liegen, sondern es nimmt dieselbe Lage ein, die das betrachtete Object hatte, das Nachbild scheint körperlich in der Luft zu stehen. Einigemal sah ich das Nachbild sogar so, dass es mit seinem obern Ende frei in der Luft stand und einfach gesehen wurde, mit seinem untern Ende auf dem Papier zu liegen schien und dann in Doppelbilder auseinander trat. Es scheint mir dieser Versuch ebenso beweisend zu sein, wenn die Trennung des Nachbildes in Doppelbilder gelingt, als wenn sie nicht gelingt. Denn es zeigt dies, dass, sobald das Nachbild auf eine Ebene projicirt wird, die zur anfänglichen Ebene geneigt ist, das einfache Bild in ein Doppelbild auseinander tritt, während es einfach bleibt, so lange es projicirt wird auf eine Ebene, die zur anfänglichen Ebene parallel ist. Immerhin ist jedoch auffallend, dass hier keineswegs wie beim umgekehrten Versuch, bei der Projection von Doppelbildern auf eine Ebene zum Zweck der Vereinigung der Doppelbilder, der Erfolg mit zwingender Nothwendigkeit auftritt, sondern im Gegentheil sich nur als Ausnahmefall zeigt. Wir widerstreben hier offenbar der Trennung des Nachbildes, weil wir die Einfachheit des Objectes, durch dessen Betrachtung das Nachbild erhalten wurde, kennen und daher lieber stereoskopisch sehen, d. h. auf die Projection auf die gewählte Ebene verzichten.«

Ich habe den hier beschriebenen Versuch oft angestellt, und ihn stets als einen guten Beweis für die Identitätslehre, sowie gegen die binoculare Projection der Netzhautbilder angesehen; dass ihn WUNDT im entgegengesetzten Sinne verwerthet, wird mir aus einer Ungenauigkeit seiner Beobachtung erklärlich.

Zuerst muss man, was jedenfalls auch WUNDT that, genau darauf achten, dass der Streifen sich wirklich auf identischen Stellen abbilde; d. h. man muss das Papier senkrecht auf die Visirebene stellen (und wenn man mit convergirenden Augenaxen experimentirt, stets eine Secundärstellung wählen). Man prüft die richtige Lage der Netzhautbilder dadurch, dass man ihr verschmolzenes Anschauungsbild durch eine leichte Ueberconvergenz spaltet und beobachtet, ob beide Trugbilder genau parallel erscheinen. Betrachtet man jetzt, mit dem Nachbild im Auge, denselben Ort der Ebene, auf welchem sich zuvor der farbige Streifen befand, so sieht man an Stelle des letzteren das Nachbild. Neigt man die Ebene langsam um eine durch den Fixationspunkt gehende horizontale Axe derart, dass das obere Ende ferner zu liegen kommt und achtet man gleichzeitig mit den Augen auf diese Drehung, so bleibt das Nachbild auf dem geneigten Papiere und legt sich mit um. Neigt man das Papier sehr rasch in der beschriebenen Richtung, so bleibt bisweilen nur der unterhalb des Fixationspunktes gelegene Theil des Nachbildes auf dem Papiere, während der obere Theil an seinem alten Orte beharrt und nun frei in der Luft zu stehen scheint. Einige Spannung der Aufmerksamkeit und die lebhafte Vorstellung der schiefen Lage des Papieres lässt dann leicht auch den oberen Theil des Nachbildes auf dem Papiere erscheinen. Neigt man das Papier mit dem obern Ende nach vorn, so verhält sich Alles entsprechend umgekehrt. Schliesst man, nachdem man das Papier in der einen oder andern Weise geneigt hat, das eine Auge, so erscheint dem andern Auge das Nachbild zur Seite geneigt; schliesst man das andere Auge, so erscheint die Neigung im entgegengesetzten Sinne. Diese Neigung der einäugigen Nachbilder erklärt sich aus der Identitätslehre leicht, wie ich in den folgenden §§. zeigen will. Etwas für die Identitätslehre Unerklärliches aber wäre es, wenn das doppeläugige Nachbild gekreuzt, also doppelt erschiene. Allein dies ist nie der Fall. Nur wenn man rasch hinter einander durch flüchtigen Schluss je eines

Auges das rechtsäugige und das linksäugige Nachbild abwechselnd erscheinen lässt, kann man von einer Kreuzung der successiv erscheinenden Nachbilder sprechen, man vergleicht dann die scheinbare Lage des sichtbaren Nachbildes mit der des eben verschwundenen. Nie aber sind beide Nachbilder gekreuzt, wenn sie zugleich erscheinen. Wenn WUNDT also sagt, man sehe »häufig« statt des einfachen Nachbildes zwei, so muss ich behaupten, dass dies nur succedan, nie simultan der Fall ist; wenn er sagt, »das Doppeltsehen des gemeinsamen Nachbildes mit beiden Augen gelinge keineswegs immer«, so muss ich behaupten, es gelinge nie; wenn er sagt, es sei immer eine Neigung vorhanden, das Doppelbild zu einem Bilde zu vereinigen, so ist dies dahin zu verstärken, dass nicht blos eine Neigung, sondern ein nie zu umgehender Zwang hierzu besteht; wenn er sagt, das Nachbild erscheine, wenn es nicht getrennt gesehen werde, stereoskopisch, so muss ich dies dahin erörtern, dass es entweder als einfach in der Luft schwebend und vertikal auf der Visirebene durch den Fixationspunkt gehend, oder als einfach auf dem geneigten Papiere liegend erscheint, und dass es hierbei ganz unwesentlich ist, ob man die eine oder die andere Erscheinungsweise des einfachen Nachbildes eine stereoskopische nennen will oder nicht. Das Nachbild erscheint einfach, weil es auf identischen Stellen liegt und in beiden Augen gleich ist; es kann ebensowohl senkrecht in der Luft schwebend gesehen, als auf eine geneigte Fläche bezogen werden, was Sache der Tiefenauslegung des gesammten Netzhautbildes, nicht Sache einer Projection noch Richtungslinien ist, die überhaupt mit dem eigentlichen Sehen gar nichts zu thun haben, sondern nur ein kurzer Ausdruck für die gegenseitige Lage eines äussern Dinges und seines Netzhautbildes sind, was unten weiter besprochen werden soll. Wenn endlich der Autor selbst sagt, dass der angebliche Erfolg des Versuchs »keineswegs mit zwingender Nothwendigkeit auftritt, sondern im Gegentheil sich nur als Ausnahmefall zeigt«; so bin ich der Ansicht, dass eine strengere Durchführung des Versuchs selbst diesen Ausnahmefall als nicht bestehend erkennen lassen wird.

§. 52.

Ich sagte oben, es sei eine Consequenz der Identitätslehre, dass ein in angegebener Weise erzeugtes doppeläugiges Nachbild mit je

einem Auge in andrer Lage gesehen werde, als mit beiden Augen zugleich. Dies fordert eine nähere Erklärung.

Halten wir, wie bei dem besprochenen Versuche ein z. B. quadratisches Blatt Papier senkrecht und mit voller Breite gerade vor's Gesicht, so erscheint es uns, mit beiden Augen gesehen, einfach und quadratisch auch dann, wenn das Papier den Augen verhältnissmässig nahe liegt und deshalb in beiden Augen nicht identisch congruente, sondern nur symmetrische Bilder giebt. Fixiren wir nehmlich z. B. die Mitte des Blattes, so bildet sich im rechten Auge *B* Fig. 53 die linke Hälfte *ac* des Blattes, dessen Durchschnitt *a b* ist,

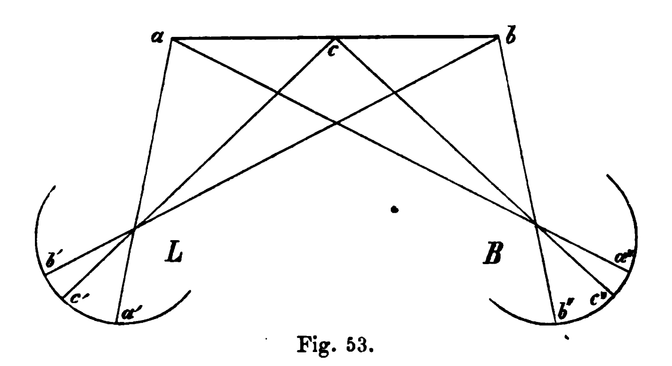


Fig. 53.

kleiner ab als die rechte *cb*, weil erstere dem Auge ferner liegt als letztere; im linken Auge ist umgekehrt das Netzhautbild der rechten Blatthälfte *cb* kleiner als das der linken. Dem gemäss ist auch im linken Auge das Bild der rechten Vertikalseite des Blattes kleiner als das der linken, im rechten Auge umgekehrt das Bild der linken kleiner als das der rechten. Wer sich dies Verhältniss in einem Extreme veranschaulichen will, schneide sich aus Papier zwei Quadrate von z. B. 1⅛ Zoll Seitenlänge, mache auf ihrer Mitte ein Zeichen und bringe sie auf einer dunklen Fläche seinem bis auf etwa 3 Zoll genäherten Auge gegenüber, so an, dass ihre Distanz die der Augen noch übertrifft, also etwa 3—4 Zoll beträgt, und dass je eine Seite des einen Quadrats der entsprechenden des andern parallel liegt. Hierauf nähere er die Trugbilder der Quadrate durch starkes Einwärtsschielen, bis sie einander mit einer Seite beinahe berühren, dann

sieht er die Quadrate ähnlich, wie in Fig. 54 abgebildet ist. Die auf der Mitte der wirklichen Quadrate gelegenen Marken erscheinen nicht in der Mitte des Bildes, sondern excentrisch nach der äussern Seite hin gelegen, weil die äussere Hälfte jedes Quadrates sich in Folge ihrer stärkern perspectivischen Verkürzung kleiner auf der Netzhaut abbildet, als die innere. Schiebt man die Bilder durch Vermehrung der Convergenz übereinander und fixirt ihr verschmolzenes Mittelzeichen,

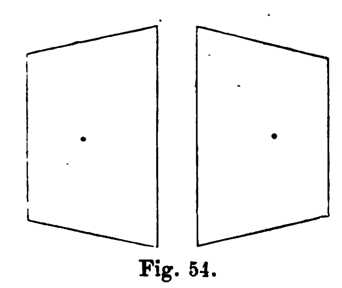


Fig. 54.

so hat nur der sehr Geübte den Eindruck, wie ihn Fig. 55 *A* wiedergiebt; der Ungeübte oder flüchtig Beobachtende glaubt ein Bild wie Fig. 55 *B*, zu sehen, weil er alle Doppelbilder übersieht und von vornherein die Gestalt des Papieres kennt. Hätte nun der Beobachter das im WUNDT'schen Versuche erzeugte Nachbild eines vertikalen Striches im Auge, so würde er, wenn er die Papierquadrate in der letztbeschriebenen flüchtigen Weise betrachtete,

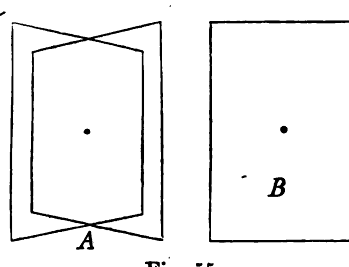


Fig. 55.

das Nachbild durch das fixirte Mittelzeichen des verschmolzenen Bildes (*B* Fig. 55) laufend erblicken, der Art wie Fig. 56 *B* zeigt,

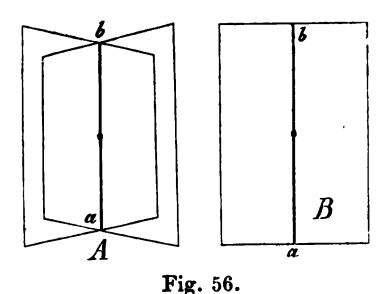


Fig. 56.

wenn *ab* das Nachbild bedeutet. Beobachtete er dagegen recht genau und wäre er in der Wahrnehmung der Doppelbilder geübt, so würde er ein Bild sehen, wie es *A* Fig. 56 zeigt. Schlösse er das linke Auge,

ohne das andere zu verrücken, so würde ihm, wozu es keiner weitern Uebung oder Aufmerksamkeit bedarf, ein Bild ähnlich *C* Fig. 57 erscheinen; schlösse er das rechte Auge, ein Bild wie *D* Fig. 57. Beim Schlusse eines Auges also sieht er das Nachbild nicht mehr in der Mitte des Papiers, wie in *A*, sondern nach der Seite verschoben, und zwar erfolgt die Verschiebung für jedes Auge nach anderer Seite hin. Dies alles ist lediglich die Folge der Gestalt des Netzhautbildes und keineswegs einer binocularen oder unocularen Projection.

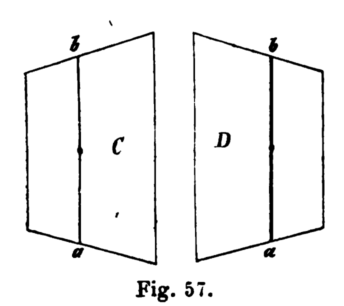


Fig. 57.

§. 53.

Wer sich mit dem eben beschriebenen einfachen Versuche etwas vertraut gemacht hat, wird sich nun leicht ableiten können, wo beim Wundt'schen Versuche die Ortsveränderung der Nachbilder bei abwechselndem Schlusse je eines Auges herrührt. Es ist ersichtlich, dass das auffangende Papier, welches Wundt benutzt, wenn es dem Gesicht nur irgend nahe gehalten wird, den Augen ebensowenig gleiche, d. i. auf durchaus identische Stellen fallende Netzhautbilder geben kann, als es die Bilder der Quadrate konnten. Gleichwohl wird sich dies nur schwer wahrnehmen lassen, weil überall das Weiss wieder mit Weiss zusammenfällt, und die in jedem Auge verschiedenen Contouren des Papierbildes zu weit vom fixirten Punkte abliegen, um genau unterscheidbar zu sein und nicht für einfach genommen zu werden. Kurzum das vorgehaltene Papier wird einfach gesehen, weil sich seine beiden Bilder grösstentheils decken, d. h. zum grössten Theile auf identischen Stellen liegen, und die incongruenten Contouren zu sehr verschwimmen, als dass sie einzeln auffallen sollten; um so mehr wenn der Blick hin und her schwankt, wie gewöhnlich der Fall ist, und mithin die Contouren stückweise verschmolzen werden: überhaupt weil alle die Verhältnisse hier gelten, welche die Verschmelzung incongruenter Bilder ermöglichen. Giebt nun schon ein senkrecht vorgehaltenes Blatt verschieden gestaltete und verschieden gelegene Netzhautbilder, so noch vielmehr ein gegen die Senkrechte geneigtes, weil bei der Neigung die obere und untere Kante des Papieres

dem Auge näher liegt. Diese Verschiedenheit der Netzhautbilder nach Gestalt und Lage ist um so erheblicher, je näher das Papier überhaupt dem Gesichte liegt. Auch dieses Verhältniss kann man sich in seinen Extremen durch die beschriebenen Quadrate veranschaulichen. Man legt dieselben z. B. vor sich auf den Tisch, jedes etwa 4—5″ von der Kante desselben entfernt, so dass die Ränder der Quadrate den Kanten des rechtwinkligen Tisches parallel laufen. Die Distanz der Quadrate sei etwa 4″. Hierauf bringt man den Kopf so vor die Kante des Tisches, dass die Nase die Kante berührt und ihre fortgesetzt gedachte Richtung gerade mitten zwischen beide Quadrate hindurch gehen müsste. Durch convergirendes Schielen erhält man dann vier Trugbilder. Erhöht man die Convergenz, bis die beiden innern Trugbilder sich berühren, so erscheinen sie etwa wie in Fig. 58 *A*, schiebt man sie noch weiter übereinander, bis ihre Mittelzeichen sich decken, das heisst auf identische Stellen fallen, so erscheinen sie etwa wie in *B*. Hätte man das nach Anleitung des WUNDT'schen Versuches erzeugte vertikale d. h. auf der vertikalen Trennungslinie gelegene Nachbild in beiden Augen, so

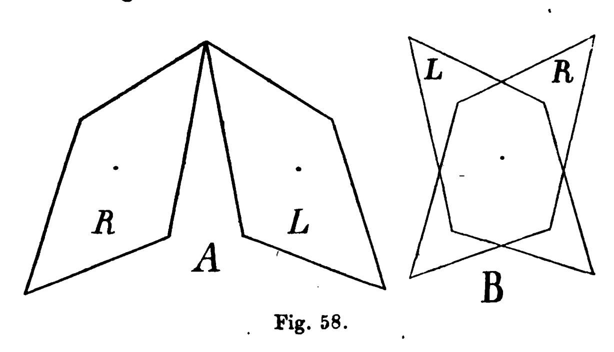


Fig. 58.

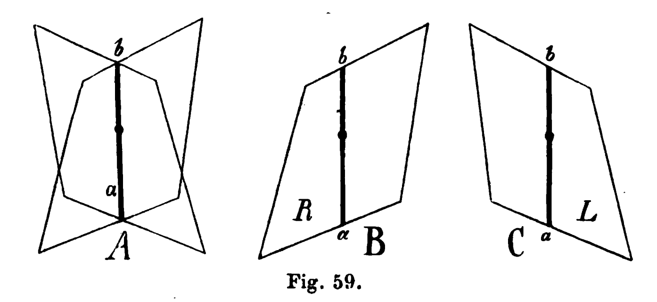


Fig. 59.

würde dasselbe beim doppeläugigen Sehen durch das fixirte und verschmolzene Mittelzeichen gehen, wie Fig. 59 *A* zeigt, in welcher *a b* das Nachbild versinnlicht. Der Theil des rechtsäugigen sowohl als

des linksäugigen Trugbildes, welchen der Strich *ab* deckt, gehört identischen Netzhautstellen an, und zwar den »vertikalen Trennungslinien«, auf welchen sich auch das Nachbild befindet. Das Nachbild aber muss selbstverständlich auf dem Theile des Papierquadrates erscheinen, welcher sich ebenda abbildet, wo das Nachbild auf der Netzhaut liegt. Schliesse ich das rechte Auge, ohne das andere zu verrücken, so sehe ich das linksäugige Nachbild, wie es Fig. 59 *C* darstellt; schliesse ich das linke Auge, so sehe ich das rechtsäugige, wie in Fig. 59. *B*. Achte ich nun nicht darauf, dass das eine Trugbild gegen das andere geneigt ist, sondern denke ich mir, wie man es gewöhnlich thut, die abwechselnd gesehenen Trugbilder hätten ungefähr dieselbe Lage, etwa wie in Fig. 60, so scheint mir das einemal das Nachbild *a b* nach links, das andremal nach rechts geneigt und schliesse ich rasch abwechselnd ein und das andre Auge, so kann ich zu dem Irrthume kommen, die Nachbilder erschienen in gekreuzter Lage. In Wirklichkeit aber bleiben die Nachbilder am selben Orte und die Trugbilder der Quadrate durchkreuzen sich, wie in Fig. 58 *A* dargestellt ist. Es entsteht also der Irrthum, als änderten die Nachbilder ihre Lage, daraus, dass man sozusagen die absolute Lage mit der relativen verwechselt: die relative Lage des Nachbildes ist im linksäugigen Trugbilde eine andere als im rechtsäugigen, die absolute ist in beiden dieselbe.

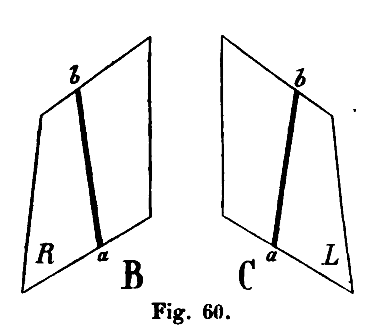


Fig. 60.

§. 54.

Ich habe einen extremen Fall ausgewählt, um an diesem das Wesen der Sache zu demonstriren. Der Wundt'sche Versuch läuft im Wesentlichen auf dasselbe hinaus. Es giebt nehmlich das vorgehaltene Papier besonders bei seiner Neigung nicht gleichgestaltete, noch gleichgelegene Netzhautbilder; daher erscheint es in Trugbildern, die sich nur theilweise decken. Durch die theils simultane, theils successive Verschmelzung der differenten Contouren, besonders aber durch die Undeutlichkeit des indirecten Sehens derselben, ent-

geht der gewöhnlichen Beobachtung diese Verschiedenheit der Trugbilder; man meint, das Papier beim doppeläugigen Sehen durchweg einfach und sein links-, sein rechts- und sein doppeläugiges Bild immer in genau derselben Gestalt zu sehen, obwohl es jedesmal eine andre hat. Hat man nun auf der vertikalen Trennungslinie der Netzhäute ein Nachbild liegen, so nimmt dasselbe im Netzhautbilde des vorgehaltenen Papieres im einen Auge eine relativ andere Lage ein, als im andern Auge. Sieht man dann abwechselnd das eine oder das andere Trugbild, so erscheint das Nachbild auf demselben jedesmal in einer andern relativen Lage zu den Contouren des Papieres, und weil man sehr leicht übersieht, dass das Trugbild selbst seine Gestalt und Lage wechselt, so meint man, das Nachbild wechsle die letztere. In Wirklichkeit aber bleibt die sozusagen absolute Lage desselben sich gleich, nur die relative ändert sich. Darum ist es aber auch unmöglich, diese verschiedene relative Lage des Nachbildes beim gleichzeitigen Sehen beider Augen jemals als Kreuzung wahrzunehmen.

Wie leicht man sich aber über die sozusagen absolute Lage eines Sehdinges täuscht, lehrt eine leichte Beobachtung. Man erzeuge sich von einer Thürpfoste, einem Fensterrahmen oder sonst einem vertikalen Dinge ein Doppelbild in der Art, dass die beiden Trugbilder nicht parallel laufen, z. B. stelle man sich an ein Fenster, neige den Kopf stark nach hinten und fixire seinen gerade und nah vorgehaltenen Finger, dann divergiren die beiden Trugbilder des mittlern und vertikalen Fensterstockes stark nach oben, und man gesteht sich ein, dass keiner der beiden gesehenen Fensterstöcke vertikal steht; schliesst man jetzt das eine Auge, während man mit dem andern den Finger fort fixirt, so scheint der einäugig gesehene Fensterstock vertikal zu stehen, obwohl das Netzhautbild sich in keiner Weise geändert hat; schliesst man das andere Auge, so erscheint der Fensterstock ebenfalls vertikal. Wir wissen, das Fenster ist vertikal und so sehen wir es vertikal mit dem rechten Auge ebensowohl als mit dem linken, auf eine Neigung von 10 bis 15° kommt es dabei nicht an. Nur wenn wir beide Trugbilder zugleich sehen, leuchtet ihre verschiedene Lage ein. Mit geometrischen Projectionen vom Netzhautbilde aus durch den Kreuzungspunkt der Richtungslinien hindurch lässt sich hier nichts erklären.

Die Unzulänglichkeit der Projectionstheorie.

§. 55.

Alle Physiologen, die sich neuerdings mit der Lehre von den räumlichen Gesichtswahrnehmungen beschäftigt haben, stimmen neben vielen sonstigen Meinungsverschiedenheiten doch darin überein, dass man die Dinge der Aussenwelt in den Richtungen der sogenannten Richtungslinien wahrnehme und dass die unbewusste binoculare Construction dieser Linien die richtige Localisation der Netzhautbilder möglich mache. Wenn Panum (Physiol. Unters. über d. Sehen mit zwei Augen) eine »Empfindung der binocularen Parallaxe« annahm, so hatte er damit nur einen kürzeren Ausdruck für eine alte Ansicht gegeben und ich weiss nicht, warum man an diesem Ausdrucke mehr Anstoss genommen hat, als an der »unbewussten Construction der Richtungslinien«, da es ziemlich irrelevant scheint, ob man eine Parallaxe »empfindet« oder »unbewusst construirt«.

Gleichgültig wie man jene Ansicht ausdrückt, ihr Inhalt besteht wesentlich in der Behauptung, dass man beim binocularen Sehen die Dinge an dem Orte wahrnehme, wo sie sich in Wirklichkeit befinden. Denn wenn man einen Punkt da sieht, wo seine beiden Richtungslinien sich durchkreuzen, so sieht man ihn an seinem wahren Orte. Man nennt Richtungslinie diejenige Gerade, welche einen Punkt der Aussenwelt mit seinem Netzhautbilde vereinigt. Mit den beiden Richtungslinien eines Punktes ist also sein Ort gegeben. Die »Seele« aber hat obiger Ansicht zufolge Kenntniss von den Richtungslinien, und somit vom Orte eines beliebigen Punktes, sei es, dass sie jene Linien erst »construirt« oder dass sie dieselben in ihrem gegenseitigen Lageverhältniss unmittelbar »empfindet«.

Nun aber zeigt eine kurze Betrachtung, dass wir fast Nichts,

d. h. nur ausnahmsweise einmal einen Punkt an seinem wahren Orte sehen. Hierdurch wird die der »Seele« zugeschriebene Kenntniss der Richtungslinien eine völlig problematische. Gegenüber den bekannten Darstellungen, welche die Localisation der Netzhautbilder im Aussenraume zum exacten Ergebnisse einer geometrisch-stereometrischen Construction seitens der »Seele« machen, bei welcher Construction eine falsche Localisation nur als Ausnahme von der Regel erscheint, erfordert die Behauptung, dass vielmehr die richtige Localisation die Ausnahme sei, eine ausführlichere Begründung.

Dass wir äusserst selten etwas am richtigen Orte sehen, lässt sich leicht beweisen. Um mit dem extremsten Falle zu beginnen, so ist bekannt, dass wir alle Gestirne am falschen Orte sehen und dass sogar die theoretische Unmöglichkeit vorliegt, sie am richtigen Orte zu sehen, weil sie am richtigen Orte gesehen, auch in richtiger Grösse erscheinen müssten. Wenn ich sage in richtiger Grösse, so bedeutet das: ein Gestirn müsste ebenso vielmal grösser erscheinen, als z. B. meine Hand, wie vielmal es im Querdurchmesser wirklich grösser ist. Die Erwähnung dieser Unmöglichkeit könnte auffallen, wenn man nicht bedächte, dass sich fortwährend im Kleinen wiederholt, was bei den Sternen im Grossen der Fall ist. Wenn wir z. B. eine gerade horizontale Strasse mit der Ferne immer schmaler werden sehen, und wenn ihr fernes Ende höher liegend erscheint als ihr nahes, so wird man eingestehen müssen, dass die Strasse nur zum kleinsten Theile am richtigen Orte erscheint; denn wäre dies für die ganze Strasse der Fall, so könnte sie in der Ferne wohl verwaschener, nicht aber kleiner erscheinen. Bei jeder perspectivischen Verkürzung tritt derselbe Fall ein. Da wir nun aber das Meiste, was wir sehen, perspectivisch verkürzt sehen, so folgt daraus unmittelbar, dass wir das Meiste am falschen Orte sehen. Ueberhaupt müssten, wenn jeder beliebige sichtbare Punkt im Durchschnittspunkte seiner Richtungslinien erschiene, die räumlichen Verhältnisse der Sehdinge genau dieselben sein, wie die der wirklichen Dinge, der Sehraum müsste bis ins Einzelne den wirklichen Raum, jedes Sehding das entsprechende wirkliche Ding decken. Statt dessen lehrt uns jeder Blick in die Aussenwelt, dass fast alle Dinge in ihrer Erscheinung andere Raumverhältnisse haben, als in der Wirklichkeit, und wenn man gleich **weiss**, dass die ferneren Bäume einer Allee dieselbe Grösse und Di-

stanz haben, wie die nähern, so sieht man sie dennoch kleiner und näher aneinander gerückt. Unsere Anschauung der Aussenwelt deckt fast nie die Wirklichkeit, weil die Tiefenauslegung des Netzhautbildes stets eine unvollkommene ist und auf halbem Wege zwischen dem flachen Netzhautbilde und der körperhaften Wirklichkeit stehen bleibt. Unsere Anschauung ist gleichsam ein Relief, das zwischen Planbild und voller Körperlichkeit die Mitte hält. Daraus folgt, dass höchstens einige wenige Punkte am richtigen Orte erscheinen können.

Bei fernen Dingen, wie Gestirnen und Baumreihen, welche beiden Augen gleiche Bilder geben, ist es zu offenbar, dass sie sämmtlich falsch localisirt werden, als dass Jemand behaupten sollte, auch sie erschienen Punkt für Punkt im Durchschnitte je zweier zusammengehöriger Richtungslinien. Für ferne Punkte wird der parallactische Winkel, den je zwei Richtungslinien miteinander machen, eingestandenermaassen zu klein; die Richtungslinien nähern sich zu sehr dem Parallelismus, als dass das »Constructionsvermögen der Seele« oder die Feinheit der »Parallaxenempfindung« noch zureichen könnte, und die Verfechter derselben geben zu, dass in solchen Fällen die Richtungslinien nur noch zur Auffindung der Richtung, nicht des Ortes (d. h. der Entfernung innerhalb dieser Richtung) brauchbar seien, dass der letztere vielmehr durch andere Momente bestimmt werde, als da sind: die relative Grösse und die Deutlichkeit der Netzhautbilder, die Luftperspective, die Erfahrung im weitesten Sinne des Wortes etc.

Da also offenbar das »unbewusste Constructionsvermögen« oder die »Parallaxenempfindung« ihre ortbestimmende Thätigkeit über eine gewisse Entfernung hinaus nicht entfalten können, das jenseits Gelegene vielmehr auf andere Weise innerhalb seiner durch die Richtungslinien gesetzten Richtung localisirt werden müsste, so ist eine Theorie, welche als Erscheinungsort jedes sichtbaren Dinges den Kreuzungspunkt seiner Richtungslinien ansieht, für alles über eine gewisse Entfernung hinaus Gelegene gänzlich unbrauchbar.

§. 56.

Es bleibt mir übrig, meine Behauptung, dass fast Alles falsch localisirt werde, auch betreffs der näher gelegenen Dinge zu beweisen.

Richtungslinien par excellence sind jedenfalls die beiden Gesichtslinien, d. h. die beiden, der Mitte der Netzhautgrube zugehörigen Richtungslinien. Vermag die »Seele« diese beiden Linien nicht richtig zu construiren, d. h. vermag sie einen nahe gelegenen Punkt beim directen Sehen nicht richtig zu localisiren, so ist keine Wahrscheinlichkeit vorhanden, dass sie mit der Construction der übrigen Richtungslinien, d. h. beim »indirecten« Sehen glücklicher sei.

Es ist offenbar, dass der »Seele« eine richtige »Construction« der Richtungslinien nur dann möglich ist, wenn sie in jedem Augenblicke eine genaue Kenntniss der Augenstellung hat. Ich will nicht betonen, dass, streng genommen, auch die Verrückung des Kreuzungspunktes der Richtungslinien mit in Betracht käme. Es genügt, zu bedenken, dass die zu einem bestimmten Netzhautpunkte zugehörige Richtungslinie, z. B. also die Gesichtslinie mit jeder Bewegung des Auges ihre Lage ändert. Ohne eine sehr exacte Kenntniss der jeweiligen Augenstellung kann demnach von einer richtigen Construction der Richtungslinien nicht die Rede sein. Daher sehen wir allgemein neben der Behauptung, dass uns ein sichtbarer Punkt im Schnittpunkte seiner Richtungslinien, oder speciell der fixirte Punkt im Schnittpunkte der Gesichtslinien erscheine, die zweite Behauptung auftreten, dass die »Seele« mittels der »Muskelgefühle« in jedem Augenblicke über den Spannungsgrad sämmtlicher Augenmuskeln d. h. über die Augenstellung genau unterrichtet sei.

Findet die »Seele« den richtigen Ort eines fixirten Punktes wirklich auf Grundlage einer »unbewussten Kenntniss« der Augenstellung, und nicht auf Grundlage des Netzhautbildes und der Erfahrung, so wird die Localisation auch dann eine sichere bleiben, wenn man jeden anderweiten Anhalt zur Beurtheilung der Entfernung eines sichtbaren Punktes ausschliesst, d. h. in den Augen ein Netzhautbild erzeugt, das in sich selbst nichts bietet, woraus man auf die Entfernung des abgebildeten Dinges irgendwie schliessen könnte.

Wundt, einer der entschiedensten Anhänger der Projectionstheorie, d. h. also jener Theorie des Sehens, welche die binocularen Netzhautbilder in der Richtung der Richtungslinien nach aussen versetzen und im Schnittpunkte dieser Linien zu einem einfachen Bilde verschmelzen lässt, giebt in seinen letzten »Beiträgen zur Theorie der Sinneswahrnehmung« (Zeitschr. für rat. Medic. III. Reihe, XII. Bd.

S. 146) einen Abschnitt »über den Einfluss der Convergenz der Sehaxen auf die räumliche Tiefenwahrnehmung«, welcher mir zur Widerlegung der Projectionstheorie um so brauchbarer erscheint, als er im Interesse derselben ausgearbeitet ist.

Wundt weist zunächst jene Ansicht zurück, welche das Urtheil über die Entfernung der Objecte, das, wie sich leicht nachweisen lasse, von den Convergenzbewegungen unsrer Augen in hohem Grade abhängig sei (S. 154), nicht unmittelbar in diesen Bewegungen selbst, sondern in den sie begleitenden Accommodationsänderungen sucht. Ich unterwerfe die Frage nach der Beurtheilung der Entfernung auf Grundlage der bei der Accommodationsänderung eintretenden »Muskelgefühle« hier, als für meinen Zweck nebensächlich, keiner besonderen Betrachtung. Ueberdies hat Wundt (Zeitschr. für rat. Medic. III. Reihe, VII. Bd. S. 321) experimentell nachgewiesen, dass die Accommodation niemals etwas über die absolute Entfernung der Gegenstände im Raume aussagt, sondern nur eine äusserst oberflächliche Kenntniss ihrer relativen Lage giebt, indem sie es möglich macht, das Nähere vom Ferneren zu unterscheiden; »dass ausserdem die Accommodation nur über eine Art der Lageänderung Aufschluss giebt, nehmlich über die Annäherung ans Auge« und dass endlich »diese Annäherung, um durch die Accommodation wahrnehmbar zu werden, eine bestimmte Grösse erreichen muss, die mit der Entfernung vom Nahepunkte zunimmt« (S. 324).

Beiläufig will ich hier nicht unterlassen, einen Irrthum zu berichtigen, der sich in viele Lehrbücher eingeschlichen hat, obwohl seine Besprechung der Hauptsache nach in die Lehre vom Grössesinn der Netzhaut gehört, bei welchem ich ihn auch ausführlich zu behandeln gedenke. Seine Wichtigkeit erlaubt schon hier eine kurze Kritik. Es findet sich derselbe z. B. in der zweiten Auflage der Physiologie von Ludwig (I. Bd. S. 334) folgenderweise dargelegt: »Alles Andere gleichgesetzt und namentlich den Sehwinkel und die Convergenz unserer Augenaxen, verkleinert sich in unserem Urtheil ein Bild mit wachsender Einrichtung unseres Auges für die Nähe. Den scharfen Beweis für diese Behauptung liefert ein schon seit lange bekannter Versuch: man erzeuge sich das Nachbild einer Kerzenflamme und betrachte dieses mit einem Auge, bald während man das Auge zum Sehen in die Ferne einrichtet (d. h. während man z. B. auf die entfernte Wand des Zimmers sieht) und bald während man für die Nähe accommodirt hat. Dieses Bild wird, wenn man vom fernen zum nahen Sehen übergeht, trotzdem dass es immer denselben Raum auf der Retina einnimmt, um ein sehr beträchtliches an Grösse abzunehmen scheinen.« Dieser Versuch ist aber nichts weniger, als ein scharfer Beweis für die ausgesprochene Behauptung, vielmehr überhaupt kein Beweis dafür, es liegt sogar im Versuche, wenn er etwas abgeändert wird, der Gegenbeweis. Blickt man z. B. mit dem Nachbild der Abendsonne im Auge auf eine andere Stelle des Himmels nahe dem Horizonte, so erscheint das Nachbild so gross, wie zuvor die Sonne; blickt man dagegen nach der Höhe des

Himmels, so erscheint es bedeutend kleiner, ebenso wie die Sonne selbst in der Nähe des Zeniths kleiner erscheint, als am Horizonte. Worauf dies beruht, ist anderswo zu erörtern; hier soll es nur ein Beispiel dafür sein, dass auch ausserhalb des Accommodationsgebietes das Nachbild in verschiedener Grösse gesehen werden kann. Noch viel auffälliger können diejenigen den Versuch anstellen, welche kurzsichtig sind und also einen sehr nahen Fernpunkt der Accommodation haben. Liegt der Fernpunkt z. B. 16″ vom Auge, so kann jenseits dieser Entfernung von einem Einflusse der Accommodation auf die scheinbare Grösse des Nachbildes nicht mehr die Rede sein. Je nachdem nun ein so Kurzsichtiger auf eine 8′, 4′, 2′ entfernte Wand blickt, erscheint das Nachbild immer kleiner; noch kleiner, wenn er ein Blatt Papier in den Fernpunkt selbst bringt. Alle diese auffälligen Aenderungen in der scheinbaren Grösse des Nachbildes stehen völlig ausserhalb des möglichen Einflusses der Accommodation. Kann aber ein Nachbild jenseit des Fernpunktes so auffallend seine scheinbare Grösse ohne Beihülfe der Accommodation ändern, so sieht man nicht ein, warum es diesseit des Fernpunktes nicht mehr möglich sein soll. Bringt man ein Blatt Papier innerhalb des Accommodationsgebiets den Augen näher und näher, so erscheint das Nachbild wirklich kleiner und kleiner und zwar aus demselben Grunde, wie zuvor, d. h. weil wir es auf einem Gegenstande sehen, den wir für näher und näher halten. Umgekehrt können wir das Nachbild einer nahen Oblate grösser sehen, wenn wir auf Gegenstände blicken, die uns ferner erscheinen; die Grösse wächst mit der Ferne des Dinges, auf dem das Nachbild erscheint, gleichgültig, ob man dabei accommodirt oder nicht. Diese Aenderung der scheinbaren Grösse des Nachbildes ist selbstverständlich, wenn man bedenkt, dass wir das Nachbild immer mit dem Dinge vergleichen, auf dem es eben gesehen wird. Auf einem fernen Hause gesehen, deckt das Nachbild einer Oblate vielleicht ein Fenster oder eine Thüre und wird also mit diesen in Betreff der scheinbaren Grösse verglichen; auf einem nahe vorgehaltenen Druckbogen deckt es nur 2 Buchstaben und wird mit diesen verglichen u. s. f. Aber man kann vielleicht einwenden, durch die beschriebenen Versuche sei die Möglichkeit eines Einflusses der Accommodation innerhalb des Accommodationsgebietes noch nicht streng ausgeschlossen, er könne doch, wenn nicht allein, so doch mitbestimmend sein. Obgleich der Einwand kaum zu fürchten ist, will ich doch einen Versuch anführen, der ihn widerlegt. Ich habe es in der Gewalt, auch bei geschlossenem Auge willkührlich für die Nähe zu accommodiren, ohne dass ich dabei die Augenstellung ändere. Bei offnem Auge sehe ich einen Finger, 4 Zoll von dem Auge gehalten sehr verwaschen, sofern das Auge für die Ferne angepasst ist; schliesse ich das Auge und accommodire nun mit geschlossenem Auge für die nächste Nähe, und öffne dann das Auge, ohne in der Accommodation nachzulassen, so erscheint der Finger augenblicklich mit scharfem Contour, wenn er sich noch in der Nähe von 4″ befindet, während er sehr verwaschen erscheint, wenn ich ihn unterdess auf 24″ Entfernung gebracht habe. Dieser Versuch beweist mir also, dass ich wirklich das Vermögen besitze, bei geschlossenem Auge für meinen

Nahpunkt zu accommodiren. Habe ich nun ein Nachbild z. B. der Sonne im geschlossenen Auge, so gelingt es mir durchaus nicht, dasselbe sich verkleinern zu sehen, wenn ich geschlossenen Auges für die nächste Nähe accommodire, obwohl, wenn ich ein Papier in den Nahpunkt bringe und sodann das Auge öffne, das Nachbild auf diesem Papiere wirklich kleiner erscheint, als bei geschlossenem Auge, so dass es also einer Verkleinerung sehr wohl fähig war. Das negative Resultat dieses Versuchs beweist mir, dass die Accommodation für die Nähe selbst in ihrem höchsten Grade, obgleich willkührlich und vollbewusst hervorgerufen, auf die scheinbare Grösse des Nachbildes bei mir keinen Einfluss ausübt. Sollte Jemand gleichwohl dabei das Nachbild wirklich sich verkleinern sehen, so würde dies durchaus nicht beweisen, dass die Accommodation die Ursache sei, vielmehr würde es nur zeigen, dass manche Personen ein Nachbild auch bei geschlossenem Auge sich näher oder ferner vorstellen können, gerade so, wie man dies bei geöffnetem Auge vermag, dass also bei diesen Individuen die Einbildungskraft eine grössere Macht über die Erscheinungsweise der Nachbilder hat, als bei mir. Der Versuch ist ausserdem sehr geeignet, zu lehren, wie irrig die jetzt üblichen Ansichten über den Grössesinn der Netzhaut sind; ein Punkt, der jedoch anderswo zu besprechen sein wird. Ich will nur beiläufig noch bemerken, dass, wenn ich mir ein doppeläugiges, auf identischen Stellen liegendes Nachbild erzeuge und dann die Augen schliesse, auch der Convergenzgrad meiner Augen auf die scheinbare Grösse des Nachbildes keinen Einfluss ausübt. Ich kann die Sehaxen abwechselnd parallel stellen und in die grösstmögliche Convergenz bringen, ohne dass die scheinbare Grösse des Nachbildes sich ändert. Selbstverständlich aber ändert sie sich sehr bedeutend, wenn ich die Augen öffne und abwechselnd einen fernen oder nahen Gegenstand betrachte; denn dann vergleiche ich das Nachbild mit dem Dinge, auf dem es erscheint und seine relative Grösse zu demselben bedingt seine scheinbare Grösse.

Ich komme jetzt zu den angeführten Versuchen WUNDT's, durch welche er »den Einfluss der Convergenz der Sehaxen auf die Schätzung der Entfernungen« bei möglichst vollständigem Ausschlusse aller anderweiten Anhaltepunkte für diese Schätzung zu bestimmen suchte. Ueber diese Versuche selbst ist S. 156 u. ff. l. c. nachzusehen. Ich gebe hier das Ergebniss mit WUNDT's Worten (S. 167) wieder:

»Bei diesen Versuchen überzeugt man sich alsbald, dass es durchaus unmöglich ist, hierbei ein Urtheil über eine absolute Entfernung zu fällen. Zwingt man sich mit dem Massstab in der Hand zu einem Urtheil, so fällt dieses immer zu klein aus, und zwar scheint die wirkliche Entfernung meistens um ein Drittel bis die Hälfte verkürzt, ohne dass aber irgend ein constantes Verhältniss zwischen der wirklichen und geschätzten Entfernung stattfindet. Die Schätzung ist zwar, namentlich bei grösserer Annäherung des Fadens, etwas sicherer und nähert sich

etwas mehr dem Richtigen als beim Sehen mit einem Auge, aber es ist der Unterschied zwischen monokularem und binokularem Sehen in dieser Hinsicht keineswegs irgend erheblich. Dies muss hier um so mehr hervorgehoben werden, weil die gegentheilige Meinung, dass wir bei binokularem Sehen wirklich die absolute Entfernung des fixirten Punktes zu beurtheilen vermöchten, sehr verbreitet ist und in den erwähnten Versuchen von H. Meyer scheinbar eine Stütze gefunden hat, obgleich die genauere Betrachtung dieser Versuche überzeugt, dass dieselben nur für das Urtheil über relative Entfernungsänderungen beweisend sind. Es ist eine durchaus falsche Meinung, wenn man glaubt, dass wir eine unmittelbare Kenntniss hätten von dem Punkte, in welchem unsere Sehaxen sich kreuzen; diese Kenntniss ist immer nur eine relative, d. h. wir wissen immer nur, ob wir auf einen nähern oder fernern Punkt als unmittelbar vorher unsere Augen eingestellt haben, aber selbst über den Grad der Entfernungsverschiedenheit zweier successiv betrachteter Punkte haben wir nur eine höchst ungefähre Vorstellung. Aus vielfachen Beobachtungen über relative Entfernungsverschiedenheiten haben wir uns nun allerdings auch eine gewisse Ansicht über absolute Entfernungen gebildet, aber wie irrthümlich und schwankend diese ist, davon kann man sich durch folgende Beobachtungen überzeugen.

Wenn wir ein unmittelbares Bewusstsein hätten von dem Convergenzpunkt unserer Sehaxen, so würde es leicht sein, nachdem wir eine bestimmte Convergenz hervorgerufen haben, ohne aber einen Gegenstand zu fixiren, ein beliebiges Objekt in den Convergenzpunkt zu bringen, und dieses Objekt müsste alsbald einfach erscheinen, während, wenn wir das Objekt vor oder hinter den Convergenzpunkt bringen, es in verkehrt- oder rechtseitigen Doppelbildern gesehen werden muss. Man stelle also die Sehaxen in Convergenz, indem man in den leeren Raum starrt, und bringe dann einen feinen verticalen Stab in den vermutheten Convergenzpunkt. Man sieht hierbei immer zuerst Doppelbilder, die man erst nachträglich durch Correction der Sehaxenstellung zur Verschmelzung bringt, und zwar ist die Entfernung der Doppelbilder oft sehr beträchtlich.«

Hierauf giebt Wundt noch Versuche über die Bestimmung der relativen Entfernung der Objecte; er misst hier nur »die Grösse der Verrückung des (als Object dienenden) Fadens, bei welcher eine Entfernungsveränderung desselben eben noch wahrgenommen wird«. Dies ist eine Messung nach der Methode der eben merklichen Unterschiede. Wundt gesteht demnach zu, dass wir nur die Aenderung der Convergenz wahrnehmen und zugleich in welchem Sinne sie geschieht, d. h. ob die Convergenz zu- oder abnimmt, nicht aber, dass wir über die Grösse der Aenderung etwas Genaueres erfahren. Von einem Messen des Raumes aus der Convergenz der Sehaxen kann also nicht die Rede sein, ebensowenig wie wir Temperaturen mit der Hand

messen können; denn messen heisst bestimmen, wie vielmal eine bestimmte Grösse in einer andern enthalten ist. Wie wir angeben können, ob etwas wärmer oder kälter ist, als unsere Haut, so vermögen wir auch, was niemand läugnen wird, anzugeben, ob die Convergenz der Augen zu- oder abnimmt; aber so wenig wir irgend genau anzugeben wissen, um wie viel Grade ein Wasser heisser ist, als unsere Haut, ebensowenig wissen wir, um wie viel beliebige Raumeinheiten der Durchschnittspunkt der Gesichtslinie sich uns genähert hat.

Ich bin weit entfernt, den Einfluss der Augenbewegungen auf die räumliche Auslegung der Netzhautbilder zu verkennen. Wer jemals mit beweglichen Bildern stereoskopische Versuche gemacht hat, wird diesen Einfluss kaum unterschätzen können. Zwei Stricknadeln, z. B. welche man parallel und senkrecht vor die Augen hält und stereoskopisch verschmilzt, geben, wenn man sie langsam einander nähert oder von einander entfernt, ein nach der Dimension der Tiefe wanderndes Sammelbild, das sich von uns zu entfernen scheint, wenn die Convergenz der Sehaxen abnimmt, während es mit wachsender Convergenz derselben sich nähert. Gleichgültig ist hierbei, ob man das Sammelbild durch Kreuzung der Sehaxen vor oder hinter den Nadeln erzeugt hat; nur ergiebt erstern Falls das seitliche Auseinanderschieben der Nadeln eine Näherung, das Zueinanderschieben eine Entfernung des Sammelbildes, während letztern Falls die Tiefenbewegung des Sammelbildes sich entgegengesetzt verhält. Dieser einfache Versuch lässt sich mannichfach variiren; auf alle Fälle zeigt er, dass die, durch Bewegungen der Objecte und zum Zwecke stetiger Fixation derselben hervorgerufenen Augenbewegungen einen Einfluss auf die Localisation nach der Dimension der Tiefe haben. Aber diese Bewegungen sind nur eines von den vielen Momenten, welche den scheinbaren Ort eines Objectes bestimmen und, wie oben gezeigt wurde, nicht eben ein sicheres. Was mich selbst betrifft, so tritt der Einfluss der Augenbewegung hinter der überwiegenden Macht der im Netzhautbilde selbst gelegenen Momente völlig zurück. Stelle ich z. B. den eben besprochenen Versuch mit den Stricknadeln so an, dass ich dieselben an einer senkrechten Wand anbringe oder bei entsprechender Beugung des Kopfes vor mich auf den Tisch lege, so erhalte ich bei jeder langsamen Distanzänderung der Nadeln zwar den Eindruck, als bewege sich das Sammelbild zu mir her oder von mir

weg, allein es ist, als habe diese Bewegung kein Resultat, d. h. trotz der Bewegung des Sammelbildes scheint mir dasselbe nicht eigentlich von der Stelle zu kommen und so oft ich mit der Bewegung einhalte, sehe ich das Sammelbild ungefähr ebensoweit von mir entfernt, als zuvor. Die Vorstellung der ungeänderten Entfernung der Wand oder des Tisches, der die Nadeln trägt, lässt den Einfluss der Augenbewegung nicht zur Geltung kommen. Nach der Projectionstheorie müsste die Wand sammt dem Sammelbilde der Nadeln in die grösste Nähe oder äusserste Ferne rücken, je nachdem die Sehaxen stark convergiren oder zum Parallelismus übergehen. Dies ist nicht der Fall. Hält man freilich die Nadeln gegen den hellen Himmel, so hemmt nichts den Einfluss der Augenbewegungen auf die Localisation des Sammelbildes; vorausgesetzt, dass das Object nicht an sich zur Vorstellung einer gewissen Entfernung Anlass giebt. Drähte und Fäden können daher bisweilen in grosser Ferne und zwar als starke Pfähle oder Taue erscheinen. Benutzt man aber als Objecte zur Erzeugung eines Sammelbildes z. B. zwei Geldstücke, deren Gepräge hinreichend deutlich ist, um auch bei nicht genügender Accommodation noch zur Wahrnehmung zu kommen, so gelingt es nicht, das Sammelbild bei parallelen Sehaxen an den Himmel zu versetzen, noch überhaupt den Ort des Sammelbildes erheblich durch die beschriebene Bewegung der Augenaxen zu ändern, und soweit es gelingt, findet zwischen der Ortsänderung des Kreuzungspunktes der Gesichtslinien und der Ortsänderung des Sammelbildes durchaus nicht die Uebereinstimmung statt, welche bestehen müsste, wenn jener Kreuzungspunkt den Ort des Bildes bestimmte, wie die Projectionstheorie annehmen muss.

Wird nun schon die Wirkung der Augen*bewegungen* auf die Localisation leicht vereitelt, so ist die ruhende Augen*stellung* noch viel unwesentlicher für die scheinbare Tiefendistanz des fixirten Objectes. Die Tiefenauslegung erfolgt meist aus ganz anderen Bedingungen. Besonders auffällig ist dies bei jeder stereoskopischen Verschmelzung, die mit unbewegten parallelen oder wenig convergirenden Sehaxen ausgeführt wird. Bei stark convergirenden Sehaxen, welche eine fortwährende Anspannung des Willens nöthig machen, ist ein Einfluss der Augenstellung eher zu erwarten. Bei mir selbst indess existirt er so wenig, dass ich das verschmolzene Bild zweier (in unveränderter Entfernung vom Auge liegenden) Münzen oder son-

stiger kleiner Gegenstände von bestimmter und bekannter Grösse bei parallelen Augenaxen sogar näher sehe, als bei Kreuzung der Sehaxen vor den Objecten, was darauf beruht, dass die Objecte erstern Falls dem Auge näher liegen, und daher grössere Netzhautbilder geben, als letztern Falls. Man sieht, es concurriren bei der Tiefenauslegung des Netzhautbildes verschiedene Momente, und die willkührliche Anspannung gewisser Augenmuskeln ist bei weitem nicht das wesentlichste.

§. 57.

Der gegebene Nachweis, dass wir die meisten Dinge des jeweiligen Sehraums nicht an ihrem wahren Orte sehen können, und dass selbst der eben fixirte Punkt meist falsch localisirt wird, sobald wir bei der Bestimmung seines Ortes lediglich auf die Augenstellung angewiesen sind, und das Netzhautbild selbst uns durch die Vertheilung von Licht und Schatten, die Deutlichkeit des Details, die Luftperspective, die relative Grösse der Bildchen etc. keinen Anhalt zur Bestimmung des Tiefenabstandes giebt, lehrt zur Genüge, dass die Richtungslinien bei der räumlichen Auslegung nicht maassgebend sein können, wie die Projectionstheorie behauptet. Man könnte sich mit diesem Nachweis begnügen, wenn nicht die Ansicht, dass uns die Dinge im Kreuzungspunkte ihre Richtungslinien oder wenigstens auf diesen Linien erschienen, eine von allen Physiologen angenommene wäre. Diese Thatsache mag es entschuldigen, wenn ich weitere Gründe gegen jene Ansicht vorbringe. Die Anhänger derselben theilen sich in zwei Parteien. Während die Einen nebenbei die Identität der Netzhäute annehmen, sind die Andern Gegner derselben. Die Ersteren dürfen, wenn sie irgend folgerecht sein wollen, allein die Richtungslinien der beiden Netzhautmittelpunkte d. h. die Gesichtslinien als Mittel einer richtigen Localisation betrachten; sie müssen sagen, nur der fixirte Punkt werde durch Construction seiner beiden Richtungslinien (Gesichtslinien) gefunden, die übrigen Theile des Netzhautbildes würden nach Maassgabe ihrer Entfernung vom Bilde des fixirten Punktes, sowie auf Grundlage der sonstigen oben berührten Bedingungen der Tiefenauslegung um den fixirten Punkt herum localisirt. Obwohl noch kein Anhänger der Identitätslehre dies klar ausgesprochen hat, vielmehr überall die Richtungslinien s ä m m t l i c h e r Netzhautpunkte unbedenklich als ebensoviele Sehrichtungen einge-

führt werden, wäre jene Einschränkung doch eine unumgängliche Folgerung der Identitätslehre. Es wäre nehmlich ohne jene Beschränkung die Erklärung der Doppelbilder aus der Identität der Netzhäute eine durchaus widersinnige.

Wenn *a*, *b*, *c* Fig. 61 drei sichtbare Punkte sind, unter denen *b* fixirt wird, und wenn dieselben der »Seele« in den zugehörigen Richtungslinien erscheinen, warum wird nur *b* einfach gesehen, *a* und *c* aber doppelt, obwohl sich die Richtungslinien derselben so gut durchschneiden, wie die von *b*? Man wird vielleicht sagen, dies komme daher, dass sämmtliche Netzhautbilder gleich weit hinaus getragen werden, in Folge dessen die Bilder von *a* über den Durchschnittspunkt ihrer Richtungslinien hinaus, die von *c* aber nicht bis zu ihm hingelangen; diese Ausflucht hat man wirklich genommen und behauptet, alle Doppelbilder erschienen auf einer sogenannten Horopterfläche, die durch den fixirten Punkt gehe, die man aber bald als Kugel-, bald als Cylinderfläche, bald als Ebene darstellte, und deren Durchschnitt in Fig. 61 durch einen Kreisbogen, beziehendlich eine gerade Querlinie angedeutet ist. Es ist nicht nöthig, zu erörtern, aus wie vielen theoretischen Gründen eine solche Annahme unzulässig ist, es genügt ein bekannter Versuch, sie zu widerlegen.

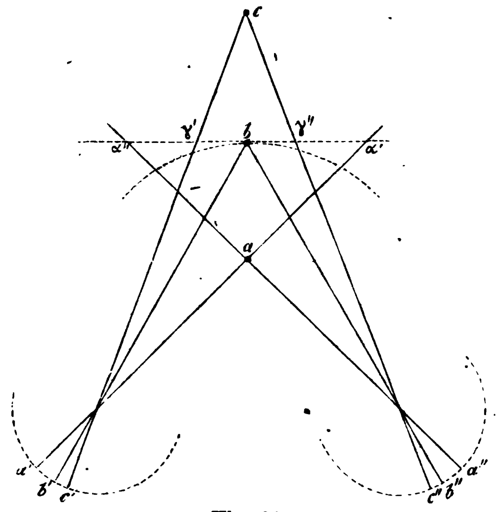


Fig. 61.

Man halte z. B. einen Finger 8 Zoll entfernt vor das Gesicht, und einen andern 24 Zoll entfernt, zwischen beiden aber bringe man ein beliebiges Object an und fixire dasselbe, so wird man von beiden Fingern Doppelbilder erhalten, die nicht etwa in gleicher Ferne mit dem Fixationsobjecte erscheinen. Vielmehr sieht man die beiden Trugbilder des nähern Fingers so weit vom Gesichte, als der wirkliche Finger erscheint, wenn man ihn fixirt, und ebenso liegt das Doppelbild des entfernten Fingers in der scheinbaren Ferne, die dieser Finger einnimmt, wenn man ihn einfach sieht. Dies geht schon daraus nothwendig hervor, dass bei Schluss des einen Auges und dauernder Fixation des erwähnten Objectes die dem offenen Auge zugehörigen Trugbilder der beiden Finger in ziemlich richtiger Distanz vor und hinter dem Fixationspunkte, und keineswegs in gleicher Ferne mit ihm gesehen werden. Denn wenn jedes Auge für sich die Finger in ziemlich richtiger Entfernung (wenngleich in falschen Richtungen) sieht, so ist nicht einzusehen, warum bei Oeffnung beider Augen die Localisation der Trugbilder einem völlig andern Gesetze gehorchen, und sie sämmtlich auf eine Fläche zusammenrücken sollten, was denn auch in Wirklichkeit niemals geschieht. Jene ganze oft wiederholte Hypothese über den Ort der Doppelbilder ist lediglich aus dem Wunsche entsprungen, die Behauptung, dass jedes Netzhautbild auf den ihm zugehörigen Richtungslinien erscheine, mit der Identitätslehre in Einklang zu setzen. Es ist nehmlich offenbar, dass, wenn z. B. die Netzhautbilder eines in c (Fig. 61) befindlichen Fingers stets auf ihren Richtungslinien $c' c$ und $c'' c$ gesehen werden sollen, die entsprechenden Trugbilder nicht einfach zur Seite rücken dürfen, sobald man von der Fixation dieses Fingers zur Fixation des nähern Punktes b übergeht. Vielmehr müssten, sobald sich das verschmolzene Bild des Fingers in zwei Trugbilder auflöst, dieselben näherrücken, um so stärker, je mehr der Fixationspunkt von c her nach b herankommt, wenn anders der doppelten Voraussetzung Genüge geschehen soll, dass erstens die Trugbilder um so stärker auseinanderweichen, je differenter die Lage der Netzhautbilder auf beiden Netzhäuten wird, und dass zweitens die Trugbilder gleichwohl auf den betreffenden Richtungslinien bleiben. Ebenso müssten nach diesen Voraussetzungen die Trugbilder von a nicht bloss seitlich auseinander weichen, sondern sich auch vom Gesichte entfernen, sobald

der Fixationspunkt von a nach b hin fortschreitet. Erschienen also wirklich die Trugbilder von c etwa in γ' und γ'', die von a in α' und α'', so wäre allerdings beiden Voraussetzungen genügt, sowohl der Voraussetzung der Identitätslehre, dass der seitliche Abstand der Trugbilder bedingt ist durch den Abstand des betreffenden Netzhautbildes vom Netzhautmittelpunkte, als auch der Voraussetzung der Projectionstheorie, dass die Netzhautbilder stets auf ihren Richtungslinien erscheinen. Da aber, wie ich zeigte und wie sich hundertfach zeigen lässt, die Doppelbilder nicht sämmtlich auf einer durch den Fixationspunkt gehenden Fläche, überhaupt nicht wesentlich näher oder ferner erscheinen, als das einfache Binocularbild des betreffenden Gegenstandes, da vielmehr bei der Spaltung des einfachen Bildes in zwei Trugbilder dieselben lediglich seitwärts ausweichen, vorausgesetzt, dass der Fixationspunkt in der Medianebene fortschreitet: so ist hinreichend klar, dass die Trugbilder nicht auf den Richtungslinien der zugehörigen Netzhautbilder bleiben können. Die Erscheinungsweise der Doppelbilder ist also mit der Projectionstheorie völlig unvereinbar, sehr wohl aber mit der Identitätslehre, gleichgültig, ob man die Identität der Netzhäute als angeboren oder als erworben ansieht.

Die Anhänger der Identitätslehre gerathen demnach in unlösbare Widersprüche mit den Thatsachen, sobald sie den scheinbaren Ort der Gesichtsobjecte ebensowohl aus der relativen Lage der Bildchen auf der Netzhaut, als aus der Lage der Richtungslinien ableiten wollen. Darum sagte ich oben, sie könnten höchstens die Richtungslinien des fixirten Punktes als maassgebend für seinen Erscheinungsort ansehen, müssten jedoch die Localisation alles Uebrigen von der relativen Lage der Bildchen auf der Netzhaut und den oben angeführten sonstigen Bedingungen der räumlichen Auslegung abhängen lassen. Dass aber auch der fixirte Punkt meist falsch localisirt wird, wenn es lediglich auf Grundlage der Augenstellung d. h. durch »unbewusste Construction« der Gesichtslinien geschehen soll, ist oben hinreichend besprochen worden. Trotz allen diesen Thatsachen, die zum grössten Theile längst bekannt sind, sieht man fortwährend die Identitätslehre und die Lehre vom Sehen nach Richtungslinien in eine trübe Vermengung gebracht. Man kann sich dabei der Ansicht nicht erwehren, dass Joh. Müller nur noch citirt, längst nicht mehr gelesen wird.

§. 58.

Wie erwähnt, giebt es noch eine zweite Partei, welche das Sehen nach Richtungslinien verficht, sich dagegen von der besprochenen ersten dadurch unterscheidet, dass sie die Identität der Netzhäute bekämpft. Der Vorzug grösserer Folgerichtigkeit ist dieser Partei nicht abzusprechen; doch wird derselbe reichlich überwogen von der noch grösseren Unvereinbarkeit ihrer Ansichten mit den Thatsachen. Wundt und Nagel sind diejenigen, welche die Identität der Netzhäute auf Grundlage ihrer Ansichten von der binocularen Projection der Netzhautbilder am schroffsten angegriffen haben. Ihre hauptsächlichsten Gegenbeweise habe ich im Obigen zu entkräften versucht. Hier beabsichtige ich eine kurze Betrachtung ihrer Theorie im Ganzen, um zu zeigen, wie ungenügend das ist, was sie an die Stelle der Identitätslehre zu setzen versuchen. Wundt's, wenngleich so inhaltreiche Arbeit werde ich dabei nur ganz im Allgemeinen berücksichtigen können, weil eine Kritik ihrer Einzelnheiten sehr viel Raum fordern würde. Sollten die einschlagenden Ansichten Wundt's durch die allgemeinen Gegengründe gegen die Projectionstheorie nicht als widerlegt erscheinen, so werde ich nicht unterlassen, eine ausführliche Widerlegung zu versuchen.

Wäre die Sinnenphysiologie psychologischen und metaphysischen Bedenken zugänglich, so würde es zweckmässig sein, die Unhaltbarkeit der Projectionstheorie auch von dieser Seite her zu erörtern. Aus naheliegenden Gründen unterlasse ich es hier und beschränke mich auf Besprechung der durch das Experiment zu constatirenden Unzulänglichkeit jener Theorie.

Eine Theorie der räumlichen Gesichtswahrnehmungen hat nicht bloss das Einfachsehen mit zwei Augen, sondern auch das physiologische Doppeltsehen zu erklären. Die Identitätslehre führt das Einfachsehen auf Gründe zurück, welche zugleich die Doppelbilder als nothwendig erscheinen lassen. Die Projectionstheorie dagegen erklärt das Einfachsehen derart, dass der Unbefangene höchst überrascht sein muss, wie es überhaupt Doppelbilder geben könne. Die doppelten Netzhautbilder geben dieser Theorie zufolge deshalb ein einfaches Anschauungsbild, weil beide Netzhautbilder auf den ihnen

zugehörigen Richtungslinien nach aussen getragen werden, bis sie im Durchschnittsorte dieser Linien zusammentreffen und hierselbst durch einen »psychischen Akt« verschmolzen werden. Ich will, wie gesagt, über die Zulässigkeit dieses »psychischen Aktes« nicht mit jener Theorie rechten; wie sehr ich ihn aus theoretischen Gründen perhorrescire, sei anderswo besprochen; aber fragen muss man, warum die »Seele« von ihrem Vermögen doppelte Bilder zu verschmelzen, nur dann Gebrauch macht, wenn dieselben auf Stellen liegen, die genau oder nahebei identisch sind? Warum trägt sie, um im Sinne der Projectionstheorie zu reden, das einemal die beiden Bilder nicht bis an den Kreuzungsort der Richtungslinien hinaus, sondern lässt sie auf halbem Wege stehen, sodass sie doppelt bleiben (»verkehrte Doppelbilder«), warum trägt sie dieselben ein andermal über jenen Punkt hinaus, sodass sie gleichsam über ihr Ziel hinausschiessen und wieder doppelt werden (»gleichnamige Doppelbilder«)?

Wenn von den drei Punkten *a, b, c* (Fig. 61) *b* fixirt wird, warum erscheint nur *b* einfach, *a* und *b* aber doppelt, obgleich sich deren Richtungslinien so gut in *a* und *c* schneiden, wie die Richtungslinien *b'* *b* und *b''* *b* in *b*? Man muss also in der That fragen, wie es überhaupt noch physiologische Doppelbilder geben kann, wenn die »Seele« im Stande ist, die Richtungslinien zu construiren.

Oder wenn beide Augen die drei auf dem MÜLLER'schen Horopter-

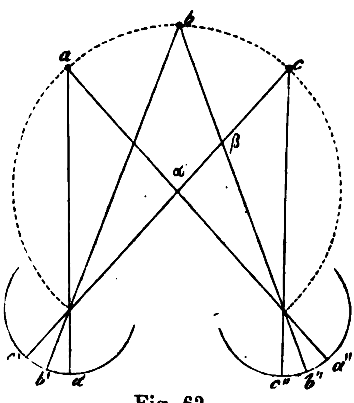


Fig. 62.

kreise gelegenen und völlig gleichen Punkte *a, b, c* (Fig. 62) sehen, während *b* fixirt wird, warum wird z. B. das Bild *c'*, dessen Richtungs-

linie sich mit den drei Richtungslinien ($a''a$, $b''b$ und $c''c$) in α, in β und in c schneidet, nicht mit a'' in α, oder mit b'' in β, sondern nur mit c'' in c vereinigt, wie wirklich der Fall ist?

§. 59.

Wundt hat in seiner citirten Arbeit die Frage, woher die Doppelbilder kommen, weder besonders gestellt, noch ausführlich beantwortet. Die Art, wie er bei Erörterung des oben besprochenen Baum'schen Versuchs pag. 209 die Doppelbilder theoretisch ableitet, muss ich schon deshalb für durchaus unzulässig erklären, weil dabei je nach Bedürfniss bald der quere, bald der Tiefenabstand der Doppelbilder ohne Weiteres aus dem seitlichen Abstande der Netzhautbilder vom Netzhautmittelpunkte abgeleitet wird. Aber auch abgesehen von dieser höchst auffälligen Wendung ist zu bedenken, dass die Erklärung eines Doppelbildes aus der relativen Lage der Netzhautbilder zu den Netzhautmittelpunkten mit der Projectionstheorie, die Wundt im Uebrigen durchführt, gar nichts zu thun hat. Solche Erklärungen sind der Identitätslehre entlehnt, die Wundt so entschieden angreift. Freilich nimmt Wundt in dem ganzen Abschnitte über den Horopter die Doppelbilder unbedenklich als selbstverständlich hin und benutzt sie sogar (z. B. S. 223) zur experimentellen Prüfung seines mathematisch abgeleiteten Horopters. Dagegen wäre gar nichts einzuwenden, wenn nicht Wundt im Uebrigen behauptet hätte, es hänge lediglich von der Fläche, auf die man ein doppelt vorhandenes Netzhautbild projicire, ab, ob und wie man mit identischen Stellen doppelt, oder ob man mit nichtidentischen einfach sehe. Als ob es dann überhaupt noch so ohne Weiteres möglich wäre, aus dem Vorhandensein von Doppelbildern auf nichtidentisch gelegene Netzhautbilder und aus der Einfachheit des Anschauungsbildes auf identisch gelegene zu schliessen, also überhaupt noch von einem Horopter zu reden, dessen theoretisch abgeleitete Lage und Gestalt man an den Doppelbildern und ihrer Lage experimentell prüfen könne.

Was nun aber Wundt's Behauptung betrifft, es hänge Einfach- und Doppeltsehen von der Gestalt und Lage der Fläche ab, auf welche die Netzhautbilder »projicirt« wurden, so ist erstens ein rein theoretischer Irrthum, der dieser Ansicht zu Grunde liegt, hervorzuheben. Wundt stellt sich die Fläche, auf welche »projicirt« wird, als etwas

vor, was gänzlich ohne Mithülfe des Gesichtssinnes gegeben ist. Wie man einem Geometer eine Fläche von beliebiger Form und Neigung mit der Forderung vorlegt, eine Horizontal- oder Vertikalprojection eines gegebenen Gegenstandes darauf zu entwerfen, so denkt sich WUNDT der »Seele« ein Gesichtsfeld von beliebiger Neigung zur Horizontal- oder Medianebene gegenübergestellt, auf welche Fläche dann die Seele das Netzhautbild gleich einem Mathematiker projicire. Verhielte es sich wirklich so, dann wäre freilich selbstverständlich, dass ein in beiden Augen identisch gelegenes Nachbild doppelt gesehen werden müsste, sobald die Fläche, auf die es mittels der Richtungslinien »projicirt« wird, nicht durch den Kreuzungspunkt der Richtungslinien geht, und dass es bloss von der Lage jener Fläche vor oder hinter dem Kreuzungspunkt abhinge, ob »ungleichnamige oder gleichnamige« Doppelbilder als Nachbilder gesehen würden. Allein WUNDT hat ganz übersehen, dass die Fläche, auf welche er die Nachbilder »projiciren« lässt, z. B. also ein Blatt Papier, ebenfalls in den äussern Raum »projicirt« werden müsste, da das Papier so gut Netzhautbild ist als das Nachbild. Das Auge erzeugt ja selbst erst jene Fläche, auf die es angeblich projiciren soll, Papier und Nachbild werden zu gleicher Zeit »nach aussen versetzt«, das Papier wird nicht als gegebene Thatsache vorgefunden, sein Anschauungsbild entsteht gleichzeitig mit dem des Nachbildes, und es hängt von der relativen Lage des Nachbildes zum Netzhautbilde des Papieres ab, auf welchem Theile des Papieres das Nachbild erscheint, nicht aber von der Lage einer hypothetischen Projectionsfläche, die gleichsam schon gesehen würde, ehe sie noch sichtbar ist. Freilich wird das Nachbild eine andere relative Lage auf dem Papiere einnehmen, je nachdem sich die Lage des letztern in sichtbarer Weise verändert und demgemäss sich anders auf der Netzhaut abbildet; aber die Lage des Nachbildes auf dem Papiere wird immer abhängig sein von seiner Lage auf dem Netzhautbilde des Papieres, wie ich dies §. 52—54 an einem Beispiele erörtert habe.

Ein vor's Gesicht gehaltenes Papier ist also nie wie eine von vornherein gegebene Projectionsfläche zu betrachten, sondern als ein Theil des Gesammtnetzhautbildes, der ebensogut erst localisirt werden muss, wie das darauf liegende Nachbild. WUNDT's Ansicht, dass man nach Belieben mit identischen Stellen doppelt, mit nicht identi-

schen Stellen einfach sehen könne, je nachdem man eine so oder so entfernte, so oder so geneigte »Projectionsfläche« vor die Augen hält, beruht auf einem ganz fundamentalen Irrthume, und wenn es WUNDT als merkwürdig darstellt, dass auf identischen Stellen liegende Bilder bei verschiedenen Lagen der »Projectionsfläche« einfach erscheinen, und dieses einfach Erscheinen für eine Folge stereoskopischer Verschmelzung erklärt, so muss man ihm entgegenhalten, dass er das erste Grundgesetz des binocularen Einfachsehens völlig verkannt hat. Leider wird durch diesen vorgefassten Irrthum auch der ganze Abschnitt über die combinirten Augenbewegungen (pag. 163) so lange unbrauchbar, als man ihn nicht in die Sprache der Identitätslehre übersetzt hat, wodurch dann freilich viele für die Anhänger der Projectionstheorie so überraschende Thatsachen als eine naheliegende Consequenz des Satzes erscheinen, dass man gleiche und auf identischen Stellen liegende Bilder stets einfach sieht. Wer die theoretische Unzulänglichkeit der WUNDT'schen Projectionstheorie nach dem Gesagten nicht zugesteht, dem sei noch ein einfacher Versuch vorgeführt, welcher, richtig verstanden, eine Gesammtwiderlegung der ganzen Theorie enthält.

Man erzeuge sich durch binoculare Fixation z. B. einer Oblate auf abstechendem Grunde ein Nachbild, fixire hierauf eine nahe vor's Gesicht gehaltene Nadelspitze und bringe hinter die Nadel in wechselnder Entfernung ein grosses gleichfarbiges Blatt, welches dem Gesichte die volle Breite zukehrt: so sieht man das Nachbild der Oblate einfach auf diesem Blatte und um so grösser, je weiter man das Blatt vom Gesichte entfernt. Ist c Fig. 63 der fixirte Punkt, und sind b' b und a' a die Richtungslinien der Netzhautmitten, auf welchen das Nachbild erscheint, so müsste nach der Projectionstheorie das Nachbild in der Richtung der Richtungslinien erscheinen, also entweder einfach in c oder doppelt in a und b. Keines von beiden ist der Fall, vielmehr erscheint das Nachbild in d; nähert man das Blatt bis zum Fixationspunkte, so wird dann das Nachbild im Fixationspunkte erscheinen, aber kleiner als zuvor. Die Vertheidiger der Projectionstheorie

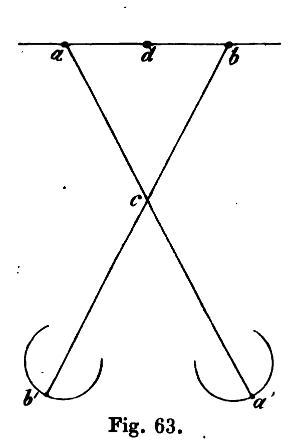


Fig. 63.

würden behaupten können, das Nachbild erscheine immer in *c*, und man glaube es nur auf dem Blatte zu sehen; aber die Haltlosigkeit dieses Einwands geht daraus hervor, dass die scheinbare Grösse des Nachbildes zunimmt mit der Entfernung des Blattes, woraus ersichtlich ist, dass wir es wirklich in verschiedener Entfernung hinter dem Fixationspunkte sehen.

Nach der Theorie der identischen Sehrichtungen, wie ich dieselben im ersten Hefte §. 10 u. ff. schematisch dargelegt habe, ist das Ergebniss des Versuchs selbstverständlich. Denn jene Theorie fusst in dem Satze, dass Alles, was auf identischen Stellen liegt, nur in einfacher Richtung erscheinen kann, gleichgültig, wie die Augen zu einander stehen. Dabei wird es immer auch einfach erscheinen, wenn beide Netzhautbilder durchaus gleich sind und nicht in einen verschiedenen Zusammenhang gehören, wenn sie also z. B. gleich grosse isolirte Bilder auf einem gleichfarbigen Grunde sind, wie die Bilder der Oblate.

§. 60.

Nagel ist meines Wissens der Einzige gewesen, der die Unzulänglichkeit der Projectionstheorie in Betreff der Erklärung der Doppelbilder herausgefühlt hat. Aber seine sonst so eingehende Arbeit über das Binocularsehen ist in der Erklärung der Doppelbilder keineswegs genügend; auch sagt er selbst, dass seine Bemerkungen über das Doppeltsehen nur »den Charakter des Vorläufigen und Vorbereitenden« tragen sollen. Gleichwohl zeichnet sich seine Arbeit vor allen hierher gehörigen dadurch aus, dass wenigstens der Versuch gemacht wird, die Doppelbilder nach den Grundsätzen der im Uebrigen verfochtenen Projectionstheorie zu erklären, und dass die durchgehende Unvereinbarkeit dieser Theorie mit der Identitätslehre überall betont wird.

Nagel hat nun versucht, der erwähnten Unzulänglichkeit seiner Theorie von zwei Seiten zu Hülfe zu kommen. Erstens nehmlich sucht er die Schwierigkeit der Doppelbilderklärung dadurch zu mindern, dass er dieselben zum grossen Theile wegläugnet (S. 95 u. ff.); er hat sich hierbei von dem Wunsche, recht wenig Doppelbilder zu finden, zu sehr hinreissen lassen, sie gar nicht erst zu suchen. Um Doppelbilder zu finden, darf man nicht ein Gemälde, nicht Druckschriften oder Alleen (vergl. S. 95. 96) ohne Weiteres benutzen: es

gehört dazu in allen irgend schwierigeren Fällen eine feine und umsichtige Auswahl in den Objecten; es gehören dazu die sorgsamsten Cautelen, mittels welcher wir uns in jedem beliebigen Augenblicke über unsere Augenstellungen unterrichten können; es gehört dazu, treu darauf zu achten, dass man wirklich mit beiden Augen sehe und sich nicht beirren lasse, wenn im Wettstreite der Sehfelder bald dieses bald jenes Trugbild untergeht, und nur die andere Hälfte des Doppelbildes zurücklässt; es gehört endlich dazu auch grosse Uebung im Fixiren und im indirecten Sehen. Sich auf das Urtheil derer zu berufen, »die durch die Kenntniss der Theorie nicht präoccupirt waren«, ist in diesem Falle unerlaubt, weil es besonders für Ungeübte sehr leicht ist, ein Doppelbild zu übersehen, während auch die lebhafteste Phantasie dem Präoccupirten keines hervorzaubern kann, sobald die physiologischen Bedingungen dazu fehlen. Uebrigens aber ersieht man aus vielen Aeusserungen und Beobachtungen NAGEL's, dass ihm selbst die Wahrnehmung der Doppelbilder in schwierigeren Fällen nicht möglich ist, sei es, dass er zu wenig auf ruhige Fixation hält, und dieselbe, wie es allerdings scheint, nirgends controlirt, sei es, dass er sonstwie nicht dazu disponirt ist. Jedenfalls konnten nur derlei Nebenumstände ihn so sehr mit den Thatsachen in Widerspruch bringen.

§. 61.

Für diejenigen Doppelbilder bei normalem Sehen, welche NAGEL anerkennt, macht er eine neue Hypothese, die ich mit seinen eigenen Worten (S. 99) wiedergebe:

»Zwei durch den Fixirpunkt gehende Kugelflächen, deren Centra die Kreuzungspunkte der Visirlinien in jedem Auge sind, sind die Flächen, auf welche im Allgemeinen die Doppelbilder projicirt werden. Von dieser Annahme ausgehend und den modificirenden Einfluss, welchen die geistige Thätigkeit auf die Localisation der Doppelbilder üben kann, Abstand nehmend, wird es nöthig sein, die Verhältnisse des Doppeltsehens zu untersuchen. Es wird dann ferner geprüft werden müssen, inwieweit die Thatsachen mit der vorläufig den Charakter einer Hypothese tragenden Behauptung in Uebereinstimmung stehen.

Für die Lage der Doppelbilder zu einander ist es wichtig einmal, ob das Object diesseits oder jenseits der Projectionssphäre liege, sodann, wie weit es von den Projectionssphären absteht. Leicht lässt sich folgende Regel aufstellen:

Objecte, welche jenseits der Projectionssphären lie-

gen, erscheinen in gleichnamigen, Objecte, welche diesseits der Projectionssphäre liegen, in gekreuzten Doppelbildern.

L und *R* (Fig. 22 Taf. III) (Fig. 64) seien die Kreuzungspunkte der Visirlinien der beiden Augen, deren Axen auf den Punkt *a*

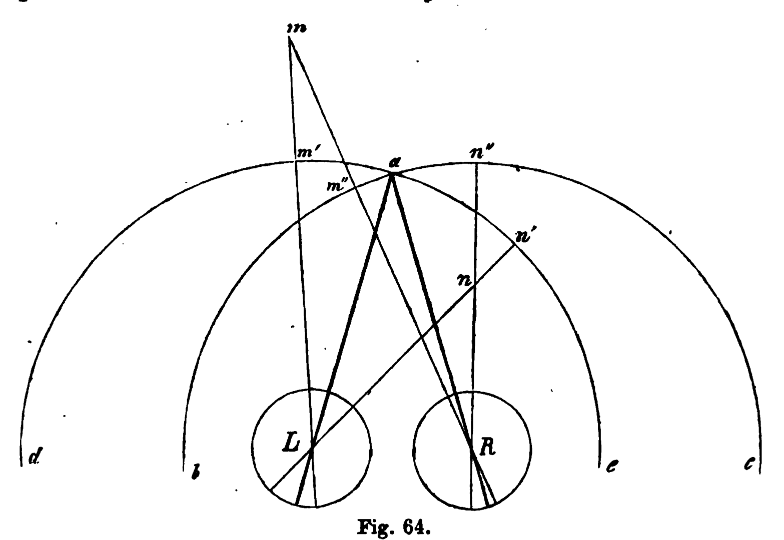


Fig. 64.

gerichtet sind. *bac* ist der Durchschnitt der Projectionssphäre des rechten, *dae* der des linken Auges; beide schneiden sich im Fixirpunkte *a*. Der jenseits der Projectionssphäre liegende Punkt *m* wird, falls das Einfachsehen am wahren Orte irgendwie gehindert ist, vom linken Auge in *m'* gesehen, wo die Projectionslinie des Punktes die diesem Auge zugehörige Projectionssphäre trifft; das rechte Auge verlegt das Bild desselben Punktes nach *m''*. Das Bild des rechten Auges liegt also rechts, das des linken links: Gleichnamiges Doppeltsehen. *m'* und *m''* seien die scheinbaren, oder richtiger ausgedrückt die vorgestellten oder wahrgenommenen Orte der Doppelbilder; die Länge einer Linie, welche beide verbindet, würde den Abstand der Doppelbilder bezeichnen.

Der diesseits der Projectionssphären gelegene Punkt *n* wird vom linken Auge in *n'*, vom rechten in *n''* gesehen; das Doppelbild des rechten Auges ist also links, das des linken rechts: Gekreuztes Doppeltsehen.«

Hier ist also zunächst nur angegeben, **wo** die Doppelbilder erscheinen sollen, »wenn die Vereinigung beider Netzhautbilder zu einem körperlichen Bilde in den Schnittpunkten der Projectionslinien aus irgend einem Grunde nicht zu Stande kommt«. Fragen wir aber, ob die von NAGEL angegebene Art der Doppelbilder durch die Be-

obachtung sich bestätigt, so ist dies durchaus zu verneinen. Ich komme auf einen schon oben erwähnten einfachen Versuch zurück. Die Dinge, welche innerhalb des (parallactischen) Winkels der Gesichtslinien liegen, erscheinen bekanntlich in sehr deutlicher Weise doppelt, was auch NAGEL zugiebt. Nun halte man zwei Finger gegen einen dunklen Grund gerade vor das Gesicht, den einen etwa 24", den andern 16" entfernt, und fixire den ferneren. Der nähere erscheint dann in gekreuztem Doppelbilde, doch liegen seine beiden Trugbilder keineswegs so fern, wie der fixirte Finger, vielmehr scheinen sie in eben der Ferne vom Gesichte zu liegen, in welcher der nähere Finger erscheinen würde, wenn man ihn fixirte und einfach sähe. Dies ist, wie erwähnt, schon deshalb zu erwarten, weil man bei nur einäugiger Fixation des ferneren Fingers den nähern als Trugbild an demselben Orte sieht, wo er beim doppeläugigen Sehen als Trugbild erscheint, und niemand behaupten wird, dass beim einäugigen Sehen zwei so verschieden entfernte Finger in einer und derselben Entfernung vom Auge erschienen. Wenn nun NAGEL behauptet, die Trugbilder erschienen auf der Projectionssphäre, so lehrt dieser Versuch, dass die Trugbilder des näheren Fingers näher erscheinen, als die angeblichen Projectionssphären zu liegen kämen. Da nun aber nach NAGEL's eigner Theorie, der nähere Finger erst dann in gekreuztem Doppelbilde erscheinen könnte, wenn seine beiden Netzhautbilder über den Durchschnittspunkt ihrer Projectionslinien d. h. über den wirklichen Ort des Fingers hinaus bis an die Projectionssphäre projicirt würden, so leuchtet der Widerspruch mit den Thatsachen ein. Es ist leicht, zahlreiche Versuche anzugeben, welche ebenso deutlich die Unzulässigkeit der NAGEL'schen Hypothese darthun.

Mag NAGEL auch die Projectionssphären nur ganz im Allgemeinen als Ort der Doppelbilder angesehen haben, so lässt sich doch zeigen, dass sie selbst als blosses Schema völlig unbrauchbar sind. Es ist ersichtlich, dass NAGEL die Doppelbilder auf einen »Irrthum in der Entfernung bei normaler Richtung« zurückführt, d. h. darauf, dass die Netzhautbilder auf ihren wahren Richtungslinien nicht bis zum Orte des wirklichen Dinges (gleichnamige Doppelbilder), oder aber über ihn hinaus projicirt werden (gekreuzte Doppelbilder). Hätte er nun auch erklärt, wie dieser auffällige Irrthum zu Stande kommt, was er nicht gethan hat, so würde doch die Thatsache, dass

z. B. die Trugbilder des näheren Fingers gar nicht ferner erscheinen, als das einfache Bild des Fingers bei Fixation desselben hinreichend beweisen, dass NAGEL's Erklärung schon in ihrer Voraussetzung falsch wäre; denn es fehlt ja in Wahrheit gerade Das, was nach NAGEL's Hypothese die conditio sine qua non der Doppelbilder ist, nehmlich das Zufernsehen derselben. Bedenkt man dazu, dass der NAGEL'schen Hypothese alles Das entgegensteht, was der Projectionstheorie überhaupt entgegenzuhalten ist, so wird man ihre Unhaltbarkeit nicht bezweifeln.

Für diejenigen, denen NAGEL's Buch zur Hand ist, füge ich noch Folgendes hinzu: Es wird weiterhin von NAGEL durch Construction eine »intermediäre Projectionsfläche« als Ort derjenigen Dinge gefunden, deren zwei Trugbilder mit dem Mittelpunkte der Grundlinie auf einer Geraden liegen. Grundlinie ist ihm die Linie, welche beide Kreuzungspunkte der Visirlinien verbindet. Was ausserhalb der »intermediären Projectionsfläche« liegt, soll ungekreuzte, das innerhalb Liegende gekreuzte Doppelbilder geben. Der horizontale Durchschnitt jener intermediären Projectionsfläche kommt, weil er durch den Fixationspunkt geht, der MÜLLER'schen Horopterkreislinie ziemlich nahe, und da ich diese Linie als Ort derjenigen Dinge bezeichnet habe, deren Trugbilder nothwendig in einfacher Sehrichtung erscheinen müssen, sowie als die Grenze, diesseits welcher die in der Visirebene der Secundärstellungen gelegenen Dinge gekreuzte, jenseits welcher sie ungekreuzte Doppelbilder geben; so könnte es scheinen, als befände ich mich hier mit NAGEL annähernd in Uebereinstimmung. Allein diese Uebereinstimmung ist nur eine scheinbare und für das Wesen unserer Ansichten ganz zufällige. Ich sprach nur von einer Trennungs*linie*, NAGEL hat eine *Fläche* im Sinne, deren horizontaler Durchschnitt zufällig jener Kreislinie nahe kommt. NAGEL bezog die Lage der Doppelbilder nur darum auf den Mittelpunkt der Grundlinie, weil es ihm sonst unmöglich gewesen wäre, eine Grenze der gekreuzten und ungekreuzten Doppelbilder zu finden; denn dazu gehört die Beziehung auf *einen* Punkt. Man kann nicht exact von rechts und links und demnach von gekreuzten oder ungekreuzten Bildern sprechen, wenn man dabei immer an *zwei* Augen denkt, die selbst rechts und links liegen. Für die Identitätslehre verschwindet diese Schwierigkeit, weil ihr beide Netzhäute in Bezug auf räumliche Unterschiede nur *eine* sind, und sie demnach die Netzhautgrube als Ausgangspunkt aller Bestimmungen von links und rechts benützen kann.

§. 62.

Das Wenige, was NAGEL zu einer Erklärung nicht bloss des Ortes, sondern überhaupt des Auftretens der normalen Doppelbilder gegeben hat, erscheint ganz unzureichend. Zunächst könnte man

meinen, wenn ursprünglich alles in Projectionssphären gesehen werde, so sei damit das Erscheinen der Doppelbilder hinreichend erklärt. In der That, sähen wir wirklich ursprünglich in dieser Weise, so würde Alles, was nicht gerade auf die kreisförmige Linie, in welcher die beiden Projectionssphären sich schneiden, zu liegen käme, doppelt erscheinen müssen. Aber NAGEL behauptet selbst, dass dies ursprüngliche Sehen beim Erwachsenen nicht mehr bestehe, sondern bei ihm nur Ausnahme von der Regel sei, ja er läugnet sogar viele Doppelbilder, die wirklich bestehen. Um so mehr hatte er die Pflicht, zu erklären, wenn und warum solche Ausnahmen von der Regel eintreten.

Was die Doppelbilder von Dingen betrifft, welche innerhalb des (parallactischen) Winkels der Gesichtslinien liegen, so versucht NAGEL für sie allerdings eine Erklärung zu geben, die jedoch im Wesentlichen offenbar der Identitätslehre entnommen ist, daher ich nichts weiter über dieselbe hinzufüge. Er sagt (S. 97):

»Das Wesentliche scheint darin zu liegen, dass die innerhalb der Sehaxen befindlichen Objecte Bilder auf entgegengesetzten Seiten der hinteren Pole des Auges erzeugen, das eine Bild links von der Macula lutea, das andere rechts von der anderen. Ich will hier nur darauf hindeuten, dass beide Bilder in diesem Falle auf ganz verschiedenen Bahnen zum centralen Sehorgan gelangen, da gleichnamige Hälften der Retinae durch die Fasern des gleichnamigen Truncus opticus gebildet werden. Die Eindrücke der beiden Bilder des Objects werden jeder durch einen andern Truncus opticus zum Gehirn geleitet, wenn sich das Object innerhalb des Convergenzwinkels oder dessen Scheitelwinkels befindet. Obgleich wir über die weitere anatomische Anordnung der Fasern im Gehirn wenig wissen, auch über die Leitungsverhältnisse in den Sinnesnerven nichts Näheres bekannt ist, so wäre es doch nicht für unmöglich zu halten, dass die gänzlich gesonderte Leitung zweier Eindrücke von Einfluss auf die Wahrnehmung wäre, dass vielleicht die instinctive Erkenntniss der Zusammengehörigkeit der beiden Bilder beeinträchtigt würde.«

Ueber die Doppelbilder von Dingen ausserhalb des parallactischen Winkels äussert NAGEL (S. 98) nur Folgendes:

»Auch mit der zweiten von VIETH angegebenen Bedingung des Doppeltsehens hat es seine Richtigkeit, dass nämlich Objecte auch ausserhalb des Convergenzwinkels doppelt erscheinen, wenn sie den Augen sehr nahe sind. In der That lehren die Versuche, dass Doppeltsehen um so leichter eintritt, je grösser der Tiefenabstand zwischen dem fixirten und dem nicht fixirten Objecte ist; damit die Doppelbilder sogleich deutlich erscheinen, muss der Abstand ein recht erheblicher

sein« . . . . . »Es wird schwer zu entscheiden sein, ob nur die Abweichung von der Gewohnheit daran schuld ist, dass wir Bilder nicht in gar zu sehr differente Entfernung projiciren mögen, oder ob noch ein tieferer Grund stattfinde.«

Die Identitätslehre hat diesen tieferen Grund längst entwickelt und ist die Erklärung keines einzigen Doppelbildes schuldig geblieben, während die Projectionstheorie, wie man sieht, keines irgend genügend zu erklären vermag.

NAGEL unterscheidet endlich von den eben besprochenen Doppelbildern, welche »auf Verlegung der Netzhautbilder in falsche Entfernung« beruhen, noch solche, welche »auf Verlegung derselben in falsche Richtung« beruhen. Unter Richtung ist die Projectionslinie (Visirlinie) zu verstehen, unter Entfernung der scheinbare Abstand des Trugbildes auf der Projectionslinie (Visirlinie) vom Auge. Zu den aus Verlegung in falsche Richtung entstehenden Doppelbildern zählt er die Doppelbilder bei Strabismus, bei Verrückung der Augen durch äussere mechanische Gewalt und bei Benutzung eines vor ein Auge gehaltenen Prismas, also sämmtlich abnorme Fälle. Auf NAGEL's Erklärung dieses abnormen Doppeltsehens brauche ich hier, weil es ausserhalb meiner Aufgabe läge, nicht näher einzugehen; sie läuft überall auf die Behauptung hinaus, dass wir uns dabei über die jeweilige Lage des einen Auges im Irrthum befinden, und darum die Projectionslinien falsch ziehen. Solche Erklärung ist neuerdings vielfach versucht worden, und der »Irrthum über die Augenstellung« dabei meist in der Richtung und in der Grösse vorausgesetzt worden, welche eben zur Erklärung nöthig erschien. Abgesehen von dieser Bedenklichkeit der Methode ist oben (§. 56) bei Besprechung der WUNDT'schen Versuche über die Ortsbestimmung aus der Convergenz der Sehaxen geschildert worden, wie äusserst unzureichend unsere jeweilige Kenntniss der Augenstellung ist; womit denn auch alle weitere Hypothesen, die sich auf die Annahme einer exacten Kenntniss derselben stützen, widerlegt erscheinen. Die Besprechung des »Muskelsinnes« wird Gelegenheit geben, auf die Erklärung jener abnormen Doppelbilder aus einem Irrthum über die Augenstellung ausführlicher zurückzukommen.

Zur Kenntniss der Sehrichtungen.

§. 63.

Halte ich ein Netz, ein Stück Gaze, ein Gitter oder dergl. vor ein Auge, während das andere geschlossen ist, und blicke durch das Gewebe, z. B. auf ein fernes Haus, so sehe ich, falls die Gaze weit genug vom Auge liegt, um demselben ein hinlänglich scharfes Bild zu geben, weder das Gewebe als ein auf dem Hause liegendes Netz, noch die Theile des Hauses zwischen den Maschen des Gewebes liegend, vielmehr erscheinen mir beide in sehr verschiedener Entfernung, ohne dass ich dazu nöthig hätte, die Accommodation zu wechseln. Wer kurzsichtig ist, braucht nur das Gewebe in seinen Fernpunkt zu halten, dann fällt die Accommodationsänderung ohnehin weg. Bei diesem Versuche werden also die Contouren des Gewebes als zusammengehörig angeschaut, und ebenso die des Hauses. In raschem Wechsel tritt bald das nahe Gewebe, bald das ferne Haus stärker in's Bewusstsein, und man meint beide gleichzeitig in verschiedener Ferne zu sehen. Beide Bilder decken sich also der Richtung, nicht dem Orte nach. Es ist selbstverständlich, dass hierbei die Contouren beider nicht eigentlich auf genau denselben Netzhautstellen liegen, sondern dass man nur im Allgemeinen sagen darf, das Gewebe bilde sich auf demselben Netzhauttheile ab, der auch das Bild des Hauses trägt. Ich führe aber den Versuch ganz besonders an, weil er zeigt, wie das Gewirr der Contouren, das durch die beiden so verschiedenen Objecte entsteht, sich in der Anschauung entsprechend der Wirklichkeit wieder zu zwei in sehr verschiedener Ferne, doch in derselben Richtung gelegenen Sehdingen sondert. Ganz dasselbe geschieht, wenn man durch ein schmuziges Fenster auf eine Landschaft sieht; es kostet förmlich Mühe, die halb durchsichtigen Schmuzflecke auf der Landschaft und nicht nahe vor

sich auf dem Glase zu sehen; ebenso wenn man durch aufsteigende dünne Dampfwolken einen entfernten Gegenstand betrachtet; am schlagendsten aber, wenn man ein unbelegtes Spiegelglas vertikal, aber unter 45 Grad gegen die Sehaxe vor ein Auge hält und dabei gleichzeitig das seitwärts Gelegene im Spiegelbilde und das hinter dem Glase Gelegene direct, also beides in derselben Richtung sieht, wobei sich die zusammengehörigen Contouren in der Anschauung sehr wohl zusammenfinden, obgleich sie sich allenthalben durchkreuzen und theilweise decken. Auf diese Weise kann man, wenn die Beleuchtung passend ist, zwei Landschaften in demselben Raume sehen, wobei gewöhnlich die eine wie eine Nebelgestalt in der anderen schwebt. Dieses Doppeltsehen mit einer Netzhaut, wie man es nennen könnte, bezieht sich selbstverständlich nur auf die Contouren der beiden einander durchkreuzenden Netzhautbilder. Die Ausfüllung der Contouren mit Farbe geschieht so, dass die durch Mischung beider Bilder entstandenen Lichtqualitäten zur Füllung bald des einen, bald des anderen Contourensystems verwendet werden, je nachdem das eine oder das andere eben stärker in's Bewusstsein tritt. Hierbei wird übrigens manches Fehlende durch die Einbildungskraft ergänzt, anderes Störende übersehen.

§. 64.

Betrachte ich durch ein Stück Gaze in beschriebener Weise ein entferntes Haus und denke mir z. B. von einem Knoten des Gewebes eine Linie bis zu der Stelle des angeschauten Hauses gezogen, welche von dem betroffenen Knoten verdeckt wird, so nenne ich solche durch den Sehraum gezogene Linien die Sehrichtungen. Jede Sehrichtung ist demnach eigentlich eine gedachte mathematische Linie. Da aber das Sehen nichts weniger als mathematisch genau ist, so darf man auch in praxi unter Sehrichtungen nichts mathematisch Exactes verstehen, sondern muss dieselben stets als nur annähernde, ungefähre Bestimmungen, als etwas innerhalb gewisser Grenzen Schwankendes ansehen. Ginge auf der Netzhaut die räumliche Unterscheidung bis ins unendlich Feine, so würden sich auch die Sehrichtungen entsprechend exacter auffassen lassen; findet dagegen die räumliche Unterscheidung eine gewisse natürliche Grenze, so ist es praktischer Weise genügend, je einem entsprechend kleinen Raumtheile der

Netzhaut eine Sehrichtung zuzutheilen und demnach den jeweiligen Sehraum des Einauges aus ebensoviel Sehrichtungen zusammengesetzt aufzufassen, als die Netzhaut desselben Auges solche kleine Raumtheile enthält.

Die Sehrichtungen haben mit den sogenannten Richtungslinien, wie ich oben gezeigt habe, zunächst nichts zu thun; es ist ein fundamentaler Irrthum, beide zu verwechseln, wie allgemein zu geschehen pflegt. Die Richtungslinien sind Bestimmungen für die räumlichen Relationen zwischen den äusseren Dingen und der Netzhaut, also für räumliche Verhältnisse des Wirklichen; sie sind ein kurzer praktischer Ausdruck für die gegenseitige Lage des äusseren Dinges und seines Netzhautbildes, und haben demnach eine sogenannte objective Existenz. Die Sehrichtungen existiren dagegen nur im subjectiven Raume, d. i. im Sehraume; sie bestimmen lediglich räumliche Relationen der Erscheinungen der Dinge, d. h. der Dinge, wie sie in der jeweiligen Anschauung da sind. Eine Sehrichtung ist bestimmt durch zwei Bilder, die im Sehraume hintereinander erscheinen, sei es abwechselnd, sei es simultan; genauer gesagt, durch diejenigen Punkte simultaner oder succedaner Anschauungsbilder, die sich der Richtung nach decken.

§. 65.

Wie man zwei in der Tiefe ausgebreitete Landschaften mittels eines durchsichtigen Spiegels, der die eine spiegelt, die andere durchscheinen lässt, gleichsam durcheinander schieben kann, ohne dass doch unter passenden Umständen eine in der andern untergeht oder ein unkenntliches Gewirr durchkreuzter Contouren entsteht: ebenso kann man zwei Landschaften oder sonstige gefüllte Räume in- und durcheinander erscheinen lassen, wenn man in einem Auge die eine, im andern die andre abbildet. Man kann also z. B. vor das eine Auge einen mit Folie belegten Spiegel in oben beschriebener Weise halten, während man das andere Auge frei hinausblicken lässt. Die gerade vorwärts und die seitwärts gelegene Landschaft erscheinen dann, wie vorhin, durcheinander geschoben, doch mit dem Unterschiede, dass nun im Wettstreite der Sehfelder bald das eine bald das andere Bild theilweise erbleicht und vom andern übertönt wird, und dass daher die ausfüllenden Farben einem entsprechenden Wechsel unterworfen

sind. Es füllt bald die eine, bald die andere Farbe und meistens eine in den verschiedensten Abstufungen mögliche Mischfarbe (Uebergangsfarbe) die Contouren aus. Bei diesem Versuche erscheinen die Theile, welche auf identischen Stellen liegen, in einer und derselben Richtung, d. h. decken sich der Richtung nach und, wenn ihre scheinbare Ferne in beiden (durcheinander geschobenen) Bildern zufällig dieselbe ist, auch dem Orte nach. Da sie aber meist in verschiedener Ferne erscheinen und dabei in einen verschiedenen Zusammenhang gehören, so sieht man das fernere Bild durch das (identisch gelegene) nähere hindurch, man sieht mit identischen Stellen gleichsam doppelt. Dabei erscheinen jedoch die beiden Bilder, obwohl man sie gesondert hintereinander sieht, nicht etwa jedes in seiner eigenthümlichen Farbe; vielmehr tritt die Mischung der beiden Farben stets ein, sobald nicht eben ein Bild ganz untergegangen ist. Man sieht die in unaufhörlicher Veränderung begriffene Mischfarbe bald als Ausfüllung der nahen, bald der ferneren Contouren, je nachdem gerade die nahen oder die fernen stärker ins Bewusstsein fallen. Obgleich also die auf identischen Stellen liegenden Bilder an einem verschiedenen Orte (innerhalb der ihnen zukommenden einfachen Sehrichtung) gesehen werden, kann doch keines von beiden seine Farbe ruhig behaupten. Darum ist es irrig, den Grund für die Mischung zweier auf identischen Stellen liegender Farben darin suchen zu wollen, dass man beide Netzhautbilder an einem und demselben Orte »vorstelle« (»psychische« Erklärung des Einfachsehens). Auch wenn man die Bilder identischer Stellen an verschiedenen Orten sieht, erscheint doch nicht jedes in seiner besonderen Farbe, vielmehr füllt eine und dieselbe Farbe sowohl die nahen als die fernen Contouren, und die Sonderung zweier auf identischen Stellen liegender differenter Bilder ist nur in den Contouren, nicht in den Farben möglich. Die Farbe ist stets die (im Nervensystem hergestellte) sehr veränderliche Resultante der beiden Einzelfarben, welche einfache Resultante in raschem Wechsel bald auf das eine, bald auf das andere Contourensystem bezogen wird: in der That ein hinlänglicher Beweis für die nicht bloss »psychische« Natur des Einfachsehens.

Auffällig ist mir, beiläufig gesagt, die Art, wie VIERORDT (Physiol. p. 312) den Beweis zu liefern sucht, dass das Einfachsehen gleicher Bilder ein »Seelenakt« sei. Er sagt:

»Hält man vor jedes Auge eine innen geschwärzte Röhre, und betrachtet man durch die, etwa parallel gerichteten Röhren eine homogene Fläche, so erscheinen beide Röhrenöffnungen in einem gewissen Abstande von einander, bei allmähliger Convergenz der Röhren nähern sich die Oeffnungen, um, wenn eine bestimmte Winkelstellung erreicht ist, zu einem einzigen Gesichtsobject zusammenzufallen. Jedes Auge vermittelt also Empfindungen für sich, die jedoch im letztgenannten Falle verlegt werden an denselben Ort; an derselben Stelle des Raumes können wir uns aber nur ein einziges Object denken, diese räumliche Verschmelzung ist also ein Seelenakt.«

Der Widerspruch mit den Thatsachen ist hier offenbar. Es ist bekannt, dass bei parallel gestellten Röhren die Röhrenöffnungen allerdings dann nicht einfach erscheinen, wenn die Augen nicht parallel stehen, ebenso bekannt ist aber auch, dass sie stets einfach erscheinen, wenn die Augen parallel stehen, und die Röhrenöffnungen demnach auf identischen Stellen abgebildet werden. Wenn VIERORDT, wie er jedenfalls gethan hat, seine Augen convergent stellt, während die Röhren parallel sind, so sieht er die Röhrenöffnung selbstverständlich doppelt, und bringt er sodann auch die Röhren in entsprechende Convergenz, so schiebt er dadurch die Bilder ihrer Oeffnungen auf identische Stellen; dass sie dann einfach erscheinen, ist die Folge ihrer identischen Lage.

§. 66.

Was bei dem, im vorigen Paragraphen beschriebenen Versuche mittels eines Spiegels bewirkt wurde, lässt sich einfacher dadurch herstellen, dass man, z. B. einer Landschaft gegenüber, die Sehaxen stark convergiren lässt, sodass jedes Auge nach einem andern Punkte der Landschaft blickt. Abermals sieht man zwei durcheinandergeschobene Landschaften, Trugbilder einer und derselben wirklichen Landschaft, die sich nicht decken, weil sie nicht Theil für Theil identischen Stellen angehören. Schlösse man jetzt z. B. das linke Auge und liesse das rechte unverrückt, während man zugleich durch passend angebrachte Spiegel auf der rechten Netzhaut ein zweites Bild erzeugte, völlig gleich und gleichgelegen mit demjenigen, welches zuvor das linke Auge erhielt, so würden die beiden sich durchkreuzenden Bilder der rechten Netzhaut, abgesehen vom nun fehlenden Wettstreite der Sehfelder, im Wesentlichen dasselbe Anschauungsbild geben, als zuvor die Bilder in beiden Augen: man würde die beiden Bilder der Landschaft (das direct gesehene und das gespiegelte) durcheinandergeschoben sehen, wie zuvor das links- und das rechtsäugige. Es ist also in Bezug auf die räumliche Auslegung der beiden Bilder

ganz gleichgültig, ob dieselben beide durcheinander auf einer und derselben Netzhaut, oder jedes für sich auf einer von beiden Netzhäuten abgebildet sind: das Anschauungsbild bleibt, abgesehen vom Wettstreite der Sehfelder und der Farbenmischung, also in seinen Umrissen dasselbe, weil identischen Stellen eine identische Sehrichtung zukommt. Der gesammte Sehraum vertheilt sich derart auf beide Augen, dass sein grösserer mittler Theil beiden gemeinsam ist, während die beiden kleinern seitlichen Theile je nur einem Auge angehören. Stellt Fig. 65 die beiden Netzhäute im Horizontaldurchschnitt dar, so sind die Netzhautstücke *c' b* und *c b'* diejenigen, welche gemeinsam den mittleren Sehraum erzeugen, während das linksäugige Stück *b'd* den linken, *c'a* den rechten Seitentheil des Sehraums bildet. Jede Netzhaut erzeugt für sich das Bild eines nach den drei Dimensionen ausgebreiteten Raumes, angefüllt mit den Bildern der Dinge, die sich eben auf ihr abbilden; öffnet sich auch das andere Auge, so muss es seine Bilder zum grössern Theile in demselben Raume unterbringen und fügt dem früheren Sehraume nur ein seitliches Stück zu. Jedes Anschauungsbild behält im doppeläugigen Sehraume dieselbe relative Lage, die es zuvor im einäugigen Sehraume hatte. Ist ein Ding in beiden einäugigen Sehräumen vorhanden, so findet man es bei Oeffnung beider Augen, im gemeinsamen Sehraume in derselben relativen Lage zu den übrigen Dingen wieder; sei es, dass es einfach, sei es, dass es als Doppelbild erscheint. Nicht auf einer hypothetischen »Horopterfläche« oder »Projectionssphäre« erscheinen die Doppelbilder, sondern jedes der beiden Trugbilder bleibt relativ an derselben Stelle, die es einnimmt, wenn es bei unveränderter Augenstellung einäugig gesehen wird. Die zeitherigen Angaben über den Ort der Doppelbilder waren nur der Theorie zu Liebe gemacht. Der oben (§. 57) beschriebene Doppelbilderversuch beweist allein schon das Irrige aller dieser Hypothesen.

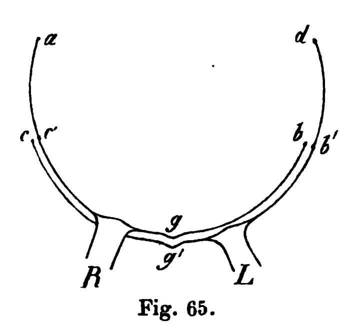


Fig. 65.

§. 67.

Wäre das Fernersehen eines Bildes nicht mit einer scheinbaren Vergrösserung desselben verbunden, sondern sähe man ein Netzhautbild in allen scheinbaren Fernen gleich gross, so würde man sich alle Sehrichtungen als parallel zu denken haben; jede Sehrichtung wäre gleichsam die Bahn, auf welcher ein kleinstes Bildtheilchen in unveränderter Grösse hin und hergeschoben werden könnte, je nachdem man es eben ferner oder näher sähe. Nun aber bedingt jedes Fernersehen eine Zunahme der scheinbaren Grösse: darum muss man sich die Sehrichtungen divergent denken.

Wären die Sehrichtungen parallel, so würde jedem kleinsten Bildtheilchen ein prismatisches Stück des subjectiven Raumes entsprechen, d. h. der ganze Sehraum wäre bestehend zu denken aus parallel gelagerten, sich nach der Dimension der Tiefe erstreckenden prismatischen Einzeltheilen, deren Durchschnitt die Gestalt eines kleinsten Bildtheilchens hätte. Jeder dieser prismatischen Sehraumtheile wäre gleichsam der Spielraum, innerhalb dessen das Bildtheilchen, je nach Veranlassung näher oder ferner, zur Anschauung kommen könnte. Bedingt aber das Fernersehen ein Grössersehen, sind demnach die Sehrichtungen divergent, so muss der Sehraum bestehend gedacht werden aus pyramidalen Einzeltheilen, deren jeder einem kleinsten Bildtheilchen entspricht. Jede dieser, mit den Spitzen zusammenlaufenden langgestreckten Pyramiden wird ebenfalls auf dem Durchschnitte die Form eines kleinsten Bildtheilchens wiederholen, jedoch im um so grössern Maassstabe, je ferner der Spitze der Schnitt gemacht wurde. Jedes kleinste Bildtheilchen wird demnach, je weiter es innerhalb des, ihm entsprechenden pyramidalen Raumtheils hinausgeschoben, d. h. je ferner es angeschaut wird, einen desto grösseren Flächenraum gewinnen können. Die zu einem Einzeltheilchen des Bildes gehörige Sehrichtung ist hierbei als die Axe des pyramidalen Sehraumelementes zu denken.

§. 68.

Wer das Wesen der Sehrichtungen recht verstehen will, muss sich gänzlich losmachen von den üblichen Vorstellungen über das so-

genannte Nachaussensetzen oder Projiciren der Netzhautbilder: es ist nichts nach aussen zu versetzen, sondern es sind nur in jedem Augenblicke die gesammten Sinneseindrücke, soweit möglich, in das richtige räumliche Verhältniss zu einander zu bringen. Für das Bewusstsein ist der gesammte Leib eben auch nur ein Theil der vorgestellten räumlichen Aussenwelt, aber insofern er der Theil ist, welcher uns in jedem Augenblicke zur Diposition steht, sind wir gewöhnt, Alles auf ihn zu beziehen. Unser Leib ist selbst ein Vorstellungsbild, das stets aus dem Gedächtnisse reproducirt und in den eben vorhandenen Sehraum mit hineingedacht wird, soweit es nicht in einzelnen Theilen (Hand, Fuss, etc.) wirklich angeschaut wird. Zwischen diesem Bilde des Körpers und den Bildern der übrigen Dinge geschieht nun die räumliche Vergleichung. Wäre unsere willkührliche Einbildungskraft so energisch, wie die unwillkührliche während des Träumens, so würden wir im Wachen zu dem Anschauungsbilde der eben vorhandenen Welt unsern *ganzen* Leib hinzufügen und uns dann in dem eben vorhandenen Sehraume ganz ebenso handeln und wandeln sehen können, wie dies oft im Traume der Fall ist. Nur die Unmöglichkeit, die *Vorstellung* unseres Leibes zur Lebhaftigkeit der *Anschauung* zu erheben, verhindert diese Vollendung der Objectivität. Gesetzt aber, sie wäre möglich, so würden wir schneller zu der Einsicht kommen, dass unser eigentliches, inneres Ich in gar keiner räumlichen Beziehung zu dieser subjectiven Raumwelt sammt unserm darin angeschauten Leibe steht, sondern dass nur die Anschauungsbilder untereinander solche Beziehung haben; demnach allerdings auch das Vorstellungsbild unseres Leibes zu den übrigen Bildern. Sehrichtungen nun sind Bestimmungen gewisser räumlicher Relationen der Anschauungsbilder unter sich. Mit dem wirklichen Raume haben sie zunächst nichts zu thun, also auch nicht mit dem wirklichen Körper und dem wirklichen Netzhautbilde.

Wenn ich dem Sehraume einen wirklichen Raum gegenüber stelle, so sehe ich dabei von aller metaphysischen Bedenklichkeit eines solchen Verfahrens ab und halte mich an den gemeinen Sprachgebrauch. Der wirkliche Raum ist der, wie er sich aus der vereinten Beobachtung des Tast- und Gesichtssinns mit Hülfe von Urtheil und Schluss ergeben hat. Dass auch dieser Raum im Grunde ein subjectiver ist, versteht sich von selbst. Sehraum ist der Raum, wie er für's Auge, im Anschauungsbilde da ist; ich nenne ihn subjectiv im engeren Sinne.

§. 69.

Wir haben also in jedem Augenblicke zwei Welten zu unterscheiden, eine subjective Anschauungswelt und eine objective wirkliche Welt. Die Relationen der objectiven Dinge zu ihrem Netzhautbilde kennen wir. Mit Hülfe der Richtungslinien und ihres Kreuzungspunktes vermögen wir bei Kenntniss der Gestalt der Netzhaut das Netzhautbild eines Dinges zu construiren, und umgekehrt aus dem Netzhautbilde wenigstens die Richtung, auf der das entsprechende wirkliche Ding liegt, bei binocularen Netzhautbildern innerhalb gewisser Grenzen sogar seinen Ort abzuleiten. Ganz anders gestaltet sich die Frage nach dem Verhältnisse des subjectiven oder Sehraumes zum jeweiligen Netzhautbilde. Das Netzhautbild ist die letzte uns bekannte Wirkung der wirklichen Dinge auf unsern Körper; was jenseit der Netzhaut geschieht, wissen wir nicht; unsère Kenntniss der objectiv wirklichen Vorgänge hat vor der Hand hier ihre Grenze: weit jenseit dieser wissenschaftlich erforschten Wirklichkeit, taucht dann eine subjective Welt auf, eine Anschauungswelt, die zwar die Verhältnisse des Netzhautbildes vielfach wieder erkennen lässt, in mancher andern Hinsicht aber völlig neue Verhältnisse darbietet. Nun fragt sich, in welcher gesetzlichen Abhängigkeit steht das Anschauungsbild von dem wissenschaftlich erforschten wirklichen Netzhautbilde; welches sind die gesetzlichen Beziehungen zwischen beiden; in wiefern wird das Traumbild einer Raumwelt, welches wir bei offnen Augen träumen, bestimmt durch das jeweilige Netzhautbild? Dies ist von der Physiologie rein empirisch festzustellen.

§. 70.

Wird bei symmetrisch gestellten Augen die Netzhautgrube eines Auges gereizt, so erscheint das entsprechende Bild in solcher Relation zu unserm gleichzeitig vorgestellten Leibe, dass die Ebene eines Schnittes, welcher das Vorstellungsbild des Leibes in symmetrische Hälften theilt, in ihrer Verlängerung durch das Anschauungsbild des Dinges geht. Wer das Vorstellungsbild seines Leibes sein Ich nennt, darf dann sagen, er sehe das Ding gerade vor sich. Darum aber braucht das wirkliche Ding, welches das Netzhautbild erzeugte, nicht

in eben solcher Lage zum wirklichen Leibe zu liegen. Man fixire seinen gerade vor's Gesicht gehaltenen Finger mit beiden Augen, so wird er in der erwähnten Medianebene erscheinen; dann schliesse man das linke Auge: der Finger bleibt nach wie vor in der Medianebene. Gerade hinter dem Finger, also ebenfalls in jener Medianebene, erscheint dann vielleicht ein Fensterstock, ein Baum oder sonst etwas. Der entsprechende wirkliche Fensterstock oder Baum aber liegt keineswegs in der Medianebene des wirklichen Leibes, sondern mehr oder weniger abseits nach links hin. Gleichgültig also, wo das wirkliche Ding liegt und welche relative Lage demgemäss die Gesichtslinie zur Medianebene des wirklichen Leibes hat, das Anschauungsbild erscheint in der Medianebene des vorgestellten Leibes, sobald das Netzhautbild auf die Netzhautgrube eines oder beider symmetrisch gestellten Augen fällt. Liegt ein Bild auf dem seitlichen Theile der Netzhaut, so erscheint es seitwärts von der Medianebene des vorgestellten Leibes, liegt es oben, erscheint es nach unten etc. Durch diese Beziehung aller Anschauungsbilder auf das gleichzeitige Vorstellungsbild des Leibes wird dieses zu einem Ausgangspunkte aller der Richtungen, die zwischen ihm und den umgebenden Anschauungsbildern denkbar sind. Diese in den subjectiven Raum hineingedachten Richtungen sind die Sehrichtungen. Aus naheliegenden, hier nicht weiter zu erörternden Gründen ist es erlaubt, für die Sehrichtungen ebenso einen einfachen Kreuzungspunkt anzunehmen, wie für die Richtungslinien.

§. 71.

Weiter auf das Wesen der Sehrichtungen einzugehen, scheint mir erst dann passend, wenn ich die Beziehung zwischen scheinbarer Grösse und scheinbarer Ferne der Anschauungsbilder ausführlicher erörtert haben werde. Nur Einiges über die schematische Verwendung der Sehrichtungen zur Erklärung des idealen Ortes der Doppelbilder will ich hier noch anführen. Der Sehraum sammt seinen Bildern ist in Betreff der räumlichen Verhältnisse mehr oder weniger eine Copie des wirklichen Raumes sammt den wirklichen Dingen. Setzen wir den idealen Fall, die räumlichen Verhältnisse der Anschauungsbilder des einäugigen Sehraums (unter sich sowohl als zu dem Kreuzungspunkte der Sehrichtungen) wären genau dieselben,

wie die räumlichen Verhältnisse der sichtbaren wirklichen Dinge unter sich und zum Kreuzungspunkte der Richtungslinien: so würden nicht nur die Sehrichtungen je zweier beliebiger Punkte des Sehraumes genau denselben Winkel mit einander machen, als die Richtungslinien der beiden entsprechenden wirklichen Punkte, sondern es würden auch alle Entfernungen zwischen den Anschauungsbildern einerseits und dem Kreuzungspunkte der Sehrichtungen andrerseits unter sich dieselben Verhältnisse zeigen, als die Entfernungen zwischen den sichtbaren wirklichen Dingen einerseits und dem Kreuzungspunkte ihrer Richtungslinien andrerseits. Dass dieser ideale Fall nie eintritt, ist bekannt. Die Tiefenauslegung bleibt stets hinter den Tiefenverhältnissen der Wirklichkeit zurück; wir sehen z. B. das ferne Ende einer horizontalen Strasse höher und kleiner, als die näheren Theile, weil wir nicht im Stande sind, das ferne Ende so gross und so fern zu sehen, als es im Vergleich zum vordern Theile wirklich gross und fern ist; die perspectivischen Verhältnisse des Netzhautbildes können nicht wieder in die vollen Tiefenverhältnisse der Wirklichkeit zurück übersetzt werden. Diese Unvollkommenheit also bei Seite gesetzt, und angenommen, wir hätten das Vermögen, jeden Theil des Anschauungsbildes in eben solcher relativen Entfernung vom hinzugedachten Kreuzungspunkte der Sehrichtungen zu sehen, in welcher das entsprechende wirkliche Ding vom Kreuzungspunkte der Richtungslinien des betroffenen Auges liegt: so giebt Fig. 66 ein Schema für den Ort der einfach oder doppelt vorhandenen Anschauungsbilder im subjectiven Raume.

k' und *k''* seien die Kreuzungspunkte der Richtungslinien; *a*, *d*, *m*, *c*, *e*, *n* sind wirkliche Dinge; *k'* 4' und *k''* 4'' sind die beiden Gesichtslinien, *f'* und *f''* die beiden Netzhautgruben, *d* das fixirte Ding. Soviel vom objectiven Raume. Nehmen wir jetzt an, das Vorstellungsbild des Leibes decke den wirklichen Leib, so würden also die Augen da vorgestellt werden, wo sie die Figur zeigt. Nehmen wir ferner an, das Ding *d* werde (wie ja bei nahen Dingen meist der Fall ist) an seinem wirklichen Orte gesehen, so würde es gerade vor das Vorstellungsbild des Kopfes zu liegen kommen. Der Kreuzungspunkt der Sehrichtungen soll unserer Annahme nach ebensoweit vom Anschauungsbilde *d* gedacht werden, als je ein Kreuzungspunkt *k'* oder *k''* der Richtungslinien vom wirklichen Dinge *d* entfernt ist; demnach

würden sich die Sehrichtungen in k kreuzen, da $kd = k'd = k''d$. Setzen wir ferner, die Winkel der Richtungslinien eines wirklichen Dinges entsprächen den Winkeln der Sehrichtungen des zugehörigen Anschauungsbildes: so würden wir nichts weiter nöthig haben, als die Kreuzungspunkte (k' und k'') der Richtungslinien in k vereinigt zu denken, um sofort für jedes beliebige sichtbare wirkliche Ding die ihm zukommende Sehrichtung im subjectiven Raume zu finden. Alles was auf einer Gesichtslinie liegt, scheint bei ungezwungenem Gerad-

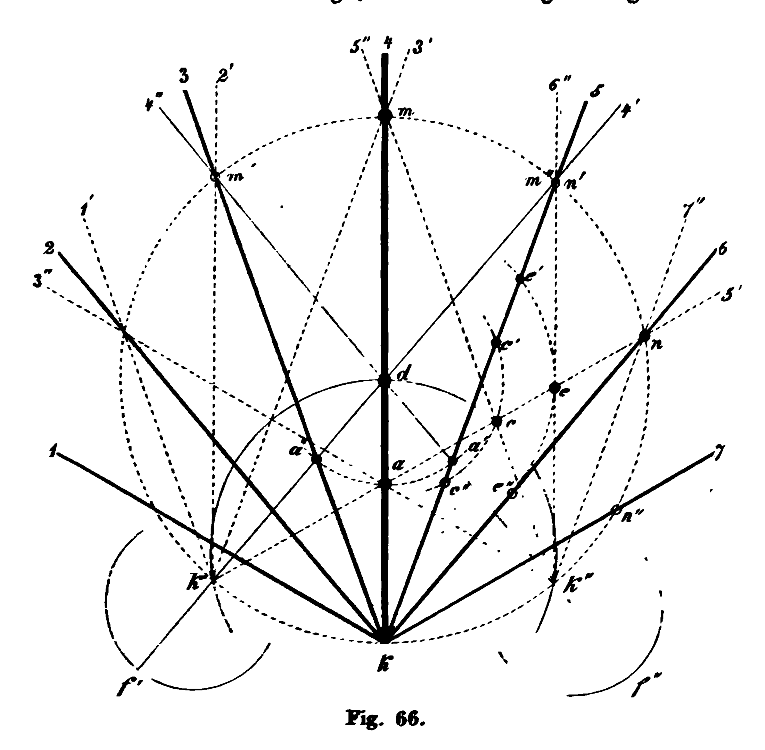


Fig. 66.

aussehen, wie ich oben erwähnte, geradaus zu liegen, sämmtliche auf den Linien k' 4' und k'' 4'' gelegene Dinge werden also in der Sehrichtung k 4 erscheinen; ebenso werden alle Dinge, welche auf zwei anderen, zu identischen Stellen gehörigen Richtungslinien liegen, zusammen auf einer Sehrichtung erscheinen, welche mit k 4 denselben Winkel macht, wie die betreffenden Richtungslinien mit den Gesichtslinien; alles z. B. auf k' 5' und k' 5'' Gelegene wird also in der Sehrichtung k 5 gesehen werden. Dabei muss Alles doppelt und

auf zwei verschiedenen Sehrichtungen erscheinen, dessen beide Richtungslinien nicht zu identischen Stellen führen. Soweit stimmt das Schema gut mit der Wirklichkeit. In Betreff der weiteren Voraussetzung, dass auch jedes Ding soweit vom hinzugedachten Kreuzungspunkte (k) der Sehrichtungen erscheinen soll, als es vom Kreuzungspunkte (k' oder k'') der Richtungslinien entfernt ist; bleibt der ungenügenden Tiefenauslegung wegen die Wirklichkeit vielfach hinter dem Schema zurück, die Anschauungsbilder (seien sie einfache oder Doppelbilder) liegen dem Kreuzungspunkte der Sehrichtungen näher, als die wirklichen Dinge dem Kreuzungspunkte der Richtungslinien, und der ganze Sehraum erscheint demnach im Vergleich zum wirklichen Raume zusammengeschrumpft, wie dies oben §. 27 besprochen wurde. Diese Verhältnisse lassen sich wegen ihrer grossen Abhängigkeit von zufälligen Umständen bei einer schematischen Darstellung nicht mit einrechnen; an dem gegebenen Schema ist also in Betreff des Ortes der Anschauungsbilder (seien sie einfache oder Doppelbilder) in jedem Einzelfalle die nöthige Correctur anzubringen, wie sie sich aus der mangelhaften Tiefenauslegung der Netzhautbilder ergiebt.

Druck von Breitkopf und Härtel in Leipzig.

BEITRÄGE

ZUR

PHYSIOLOGIE.

VON

EWALD HERING,

DOCT. MED. PRIVATDOCENT DER PHYSIOLOGIE.

DRITTES HEFT:

VOM HOROPTER.

MIT 10 HOLZSCHNITTEN.

LEIPZIG,

VERLAG VON WILHELM ENGELMANN.

1863.

VORWORT.

Das vorliegende Heft giebt die specielle Darlegung meiner im ersten Hefte summarisch gemachten Angaben über die Lage der identischen Stellen und die von derselben bedingte Gestalt des Horopters nebst den experimentellen Beweisen.

Meissner's Arbeit über den Horopter (Beiträge zur Physiol. des Sehorgans) ist hierbei eingehend berücksichtigt worden. Insofern diese Arbeit durch neue Versuche das Interesse an der Horopterfrage wieder anregte, darf man die ihr gewordene Anerkennung als eine verdiente bezeichnen, und ebenso scheint mir ihr Verdienst um die Lehre von den Augenbewegungen ein unbestreitbares. Was aber das Hauptergebniss betrifft, um deswillen die ganze Arbeit von Meissner unternommen wurde, d. h. was den gefundenen Horopter betrifft, so ist die Arbeit im Wesentlichen als eine verfehlte zu betrachten: ihren experimentellen Grundlagen fehlt die nöthige Exactheit, der mathematische Theil der Arbeit verstösst gegen die Elemente der Geometrie und Trigonometrie, die Hauptvoraussetzungen, auf denen die Arbeit ruht, sind nicht richtig und ebenso ein Theil der Schlüsse, welche aus den Experimenten gezogen werden. Bedenkt man nun, dass die schon 1843 erschienene Arbeit A. Prévost's »*Sur la theorie de la vision binoculaire*« eine richtige Entwicklung des Horopters der Secundärstellungen nebst den experimentellen Beweisen gebracht hatte, so ist es um so mehr zu bedauern, dass diese Abhandlung über der Meissner'schen ins Vergessen gerieth und letztere in ihrem ganzen Umfange in die verbreitetsten Lehrbücher überging.

Wundt's Ansichten über den Horopter habe ich nur beiläufig berührt; sie beruhen, soweit sie neu sind, auf falschen Beobachtungen und falschen Rechnungen. Ich werde an einem andern Orte das Resumé kritisiren, welches Wundt selbst in Poggendorff's Annal. der Physik (Bd. 116. S. 617) von seinen Ansichten über Binocularsehen gab. Er hat in seinen verschiedenen Abhandlungen über diesen Gegenstand zwei Ansichten, die sich gegenseitig unbedingt ausschliessen, immer gleichzeitig vertreten. Auf der einen Seite verwirft er die

Identität und behauptet, es hänge nur von der Lage der Fläche ab, auf die man ein binoculares Netzhautbild »projicire«, ob man einfach oder doppelt sehe, und man könne daher ebensowohl mit nicht identischen Stellen einfach als mit identischen doppelt sehen: und auf der andern Seite benützt er wieder das Einfachsehen eines Aussenpunktes als Kriterium dafür, dass dieser Punkt im Horopter liege d. h. also, dass er sich auf identischen Stellen abbilde. So gehen beide Ansichten in seinen Abhandlungen über Binocularsehen und über die combinirten Augenbewegungen nebeneinander her, und je nach Bedürfniss wird bald die eine, bald die andre zur Erklärung richtiger und falscher Beobachtungen benützt. Zu dieser ersten Quelle grosser Verwirrung kommt noch eine zweite. WUNDT macht zuerst (z. B. S. 179 im XII. Bande der Zeitschr. f. rat. Medic.) Angaben über die Lage der Trennungslinien bei verschiedenen Augenstellungen, die den ziemlich übereinstimmenden Beobachtungen MEISSNER's, v. RECKLINGHAUSEN's und andrer Beobachter, denen auch ich mich anschliesse, diametral zuwider laufen, und einige Seiten später (z. B. l. c. S. 200) sagt er gleichwohl, es gehe also aus seinen Beobachtungen hervor, dass MEISSNER in der Hauptsache Recht habe. Auffällige Irrthümer über die einfachsten Gesetze der geometrischen Projection haben ihn zu diesen Widersprüchen verleitet.

A. PRÉVOST's und BURCKHARDT's Arbeiten sind eingehend berücksichtigt worden und ebenso v. RECKLINGHAUSEN's tüchtige Abhandlung über den Horopter; auch habe ich mich bemüht, das harte und ungerechtfertigte Urtheil, welches MEISSNER über letztere fällte, ausführlich zu widerlegen. Mit den sonstigen Ansichten v. RECKLINGHAUSEN's bin ich übrigens nicht durchweg einverstanden.

Die Tiefenwahrnehmung, der Grössesinn der Netzhaut, der Ortsinn der Haut und der Muskelsinn werden den Inhalt der nächsten Hefte bilden. Das Urtheil über das, was ich aus diesen Gebieten schon im ersten Hefte vorgebracht habe, bitte ich solange zurückzuhalten, bis ich dieselben so ausführlich besprochen haben werde, wie dies in Betreff der Identität und des Horopters im zweiten und in diesem Hefte geschehen ist.

Leipzig im April 1863.

Der Verfasser.

INHALT.

Die Aufsuchung der identischen Stellen.

§. 72.

In §§. 3 und 7 habe ich bereits darauf hingewiesen, inwiefern die binoculare Betrachtung der Gestirne über die Lage der Deckstellen Aufschluss giebt. Nehmen wir der Einfachheit wegen an, der Kreuzungsraum der Richtungslinien oder Lichtrichtungen sei ein mathematischer Punkt, so ist uns bei Kenntniss der Lage dieses Punktes im Auge für jeden beliebigen Aussenpunkt zugleich die Lage seines Netzhautbildes gegeben, und wir können also jede beliebige Netzhautstelle, weit exacter als durch äussern Druck (JOH. MÜLLER), durch passende Localisirung eines leuchtenden Aussenpunktes in Reizung versetzen. Denn die Erzeugung leuchtender Kreise durch äussern Druck auf die Netzhaut ist angreifend, giebt zu grosse und unbestimmt begrenzte Bilder und ist nur auf peripherischen Netzhauttheilen möglich, welchen Mängeln gegenüber der einzige Vorzug dieser Methode, dass sie nehmlich keine Kenntniss des Ganges der Lichtstrahlen im Auge voraussetzt, nicht in Betracht kommen kann.

Wenn nun, wie ich behaupte, die gleiche und gleichzeitige Reizung eines Deckstellenpaares durch einen isolirten und von beiden Augen gleichweit entfernten Aussenpunkt stets zu einer einfachen Wahrnehmung führt, so hat man zum Beweise dieses Satzes das Bild eines weit entfernten leuchtenden Punktes nach und nach auf die verschiedenen Deckstellenpaare zu dirigiren und zu beobachten, ob dabei der leuchtende Punkt stets einfach erscheint. Zu diesem Zwecke kann man entweder den leuchtenden Punkt oder seinen Kopf oder seine Augen zweckmässig bewegen, letzternfalls vorausgesetzt, dass die gegenseitige Lage je zweier Deckstellen bei allen Richtungsände-

rungen der parallel gestellten Blickrichtungen (Gesichtslinien) dieselbe bleibt. Da dies innerhalb gewisser Grenzen der Fall ist, da ferner einzelne helle Sterne und für peripherische Netzhautstellen der Mond allen hier zu machenden Anforderungen genügen, so darf man eine zweckentsprechende doppeläugige Betrachtung dieser Gestirne als einen einfachen und fasslichen Versuch zur allgemeinen Bestimmung der Lage der Deckstellen ansehen.

Indessen sind hierbei zwei kleine Fehlerquellen wohl zu beachten. Erstens ändern bei den verschiednen Augenstellungen, wenngleich der betrachtete Punkt unendlich fern ist und die Blickrichtungen demnach parallel bleiben, doch die Netzhäute ein wenig ihre relative Lage zu einander, und die »horizontalen Trennungslinien« bleiben nicht immer in der Blickebene (Visirebene), ein Umstand, der freilich nur bei stärkerer Wendung des Blickes nach oben, rechts oder links erheblich wird; zweitens ist das Einfachsehen auch mit nicht genau, sondern nur nahebei sich deckenden Stellen möglich, wodurch bei Geübten ein kleiner, bei Ungeübten ein merklicher Fehler bedingt wird. Sind diese Fehler auch nicht gross genug, um die Ergebnisse des obigen Versuches in der Hauptsache zu alteriren, so wird doch die eingehendere Untersuchung vorläufig davon absehen müssen, das Einfacherscheinen zweier Netzhautbildpunkte ohne Weiteres als strenges Kriterium ihrer Decklage anzusehen. Es erschliesst sich indessen sofort ein andrer Weg zur Bestimmung der Lage der Deckstellen.

§. 73.

Haben, wie ich behaupte, Deckstellen die Eigenschaft, ihre gleichzeitigen Bilder stets in einer Richtung, d. i. in identischer Sehrichtung, und unter passenden Umständen an einem und demselben Orte innerhalb dieser Richtung zur Erscheinung zu bringen, so muss es unter passenden Umständen in Betreff der räumlichen Verhältnisse des Erscheinenden gleichgültig sein, ob man die jeweilige Aussenwelt in einem Auge abbildet, oder sie diesem Auge theilweise verdeckt und den verdeckten Theil im andren Auge auf Netzhautstellen abbildet identisch denjenigen, auf welchen er zuvor im ersten Auge lag. Fixirt man also z. B. bei Rückenlage einen Stern im Zenith zuerst mit einem

Auge und hierauf, während man dem rechten Auge die rechte, dem linken die linke Himmelshälfte genau bis an den fixirten Stern verdeckt, mit beiden Augen; so muss man in beiden Fällen genau denselben Anblick haben. Dies ist denn auch wirklich der Fall.

Hiergegen nun lässt sich, vorausgesetzt, dass die »horizontalen Trennungslinien« bei dem Versuche in der Blickebene gelegen haben, nur einwenden, dass es nicht möglich sei, sich die gegenseitige Lage der Gestirne fest genug einzuprägen, um bei abwechselndem Anschauen derselben bald mit einer Netzhaut bald mit symmetrischen Hälften beider Netzhäute kleinere Veränderungen der scheinbaren Lage wahrzunehmen. Dieser Einwand fällt weg, wenn man mit Beibehaltung der leitenden Idee den Versuch zweckmässig abändert.

Man stelle beide Blickrichtungen horizontal und senkrecht zur »Grundlinie« (Verbindungslinie der Lichtrichtungsknoten) und gebe der Gesichtsfläche eine solche Neigung zur Blickebene, dass die »horizontalen Trennungslinien« in der Blickebene gelegen sind. Hierauf stelle man senkrecht zur beiderseitigen Blickrichtung (also parallel der Grundlinie) einen weissen ebenen Schirm vor sich auf und markire die Punkte, in denen die rechte und linke Blickrichtung den Schirm schneidet.

Dies ist leicht in folgender Weise auszuführen: Ein auf einer Seite weisser und völlig ebener Papp- oder Holzschirm wird parallel der Gesichtsfläche senkrecht aufgestellt. Gerade gegenüber dem einen Auge wird ein feines Loch senkrecht durch den Schirm gestossen, und auf der vom Gesichte abgewendeten Seite des Schirmes ein Kügelchen weiches Wachs über die Oeffnung gedrückt. Sodann sticht man von hinten eine feine lange und ganz gerade Nadel z. B. eine Insectennadel durch Wachs und Loch hindurch, legt auf der Vorderseite des Schirmes das Winkelmaass von mehrern Seiten an die durchgestossne Nadel und stellt sie dadurch, indem man zugleich von hinten den Nadelkopf in das weiche Wachs drückt, senkrecht zur vordern Schirmfläche. Kennt man bereits den gegenseitigen Abstand der beiden Lichtrichtungsknoten (Kreuzungspunkte der Richtungslinien) seiner parallel gestellten Augen, so bringt man in diesem Horizontalabstande von der ersten Nadel eine zweite gerade gegenüber dem andern Auge lothrecht zur Schirmebene an. Kennt man diesen Abstand nicht, oder will man den Apparat zugleich für andre Augen brauchbar machen, die einen etwas andern Abstand von einander haben, so macht man nach ungefährer Schätzung des Abstandes einen kurzen horizontalen Spalt für die zweite Nadel, stellt das Auge derjenigen Seite, auf welcher die erste Nadel befestigt ist, der letzteren so gegenüber, dass man sie bei Schluss des andern Auges in totaler Verkürzung d. h.

ihre Spitze als Centrum eines kleinen Hofes sieht, und schiebt dann, ohne den Kopf zu verrücken, die zweite bereits senkrecht gestellte Nadel versuchsweise im Spalte hin und her, bis sie dem nun geöffneten Auge ihrer Seite bei Schluss des ersten Auges ebenfalls in totaler Verkürzung erscheint. Dann befestigt man auch die zweite Nadel mit Wachs. Bei einiger Geschicklichkeit wird man nach abwechselnder Prüfung bald der rechten bald der linken Nadel schnell zum Ziele kommen. Der Mechanikus wird einen entsprechenden Apparat selbstverständlich solider anfertigen können.

Ueber die Vorderseite des Schirmes spannt man nun interimistisch zwei feine lothrechte Fäden, sodass je einer eine Nadel an ihrer Insertionsstelle berührt. Man kann die Fäden oben befestigen und unterhalb des Schirmes mit einer kleinen Last beschweren. Beide Fäden müssen genau rechtwinklig die gedachte Verbindungslinie beider Nadelinsertionen durchschneiden. Mit ungezwungener Kopfhaltung setzt man sich vor den Schirm und schiebt denselben soweit hinauf oder hinab, nach rechts oder links, bis jedes Auge für sich, d. h. bei Schluss des andern, die Nadel seiner Seite in totaler Verkürzung, so zu sagen punktförmig sieht. Hierauf fixirt man, ohne den Kopf im Mindesten zu verrücken, zunächst die Mitte zwischen beiden Nadeln, mindert dann allmählich die Convergenz der Augen und achtet auf die sich einander nähernden Trugbilder (Doppelbilder) der beiden Fäden, während man die andern beiden, sich voneinander entfernenden Trugbilder ausser Acht lässt. Sind die Augen dem Parallelismus nahe, fixirt man fest die scheinbare Mitte zwischen den beiden stark genäherten Trugbildern der Nadelinsertionen und bemerkt man dabei keine Divergenz der Faden-Bilder, so darf man annehmen, dass die »horizontalen Trennungslinien« in der Blickebene liegen, und schiebt dann durch eine entsprechende Augenbewegung die Trugbilder vollends zu einem einfachen Bilde zusammen. Hierauf lässt man, ohne die Augen im Mindesten zu bewegen, die Fäden entfernen und sieht nun also nur noch eine einfache, so zu sagen punktförmig verkürzte Nadel, welches Bild entstanden ist durch Verschmelzung der beiden auf den Stellen des directen Sehens gelegnen Bilder der in totaler Verkürzung erscheinenden Nadeln. Von diesem Augenblicke an entspricht nun der Apparat allen oben gemachten Anforderungen.

Jedes Auge erhält natürlich bei solcher Augenstellung zwei Nadelbilder, von welchen das eine direct gesehen wird und eine Nadel in totaler Verkürzung zeigt, während das andre, indirect gesehene, die andre Nadel in schräger Verkürzung zeigt. Letzteres Bild kommt bei unsrem Versuche nicht in Betracht.

Es versteht sich von selbst, dass der Schirm in eine Entfernung gebracht werden muss, in der die Fäden und Nadeln trotz der Parallelstellung der Augen deutlich genug gesehen werden können. Kurzsichtigkeit mittlen Grades eignet sich dabei am Besten; Normalsichtige müssen entweder unabhängig von der Augenstellung accommodiren können, was bekanntlich innerhalb gewisser Grenzen möglich ist, oder Linsen be-

nützen, deren etwaiger störender Einfluss auf das Folgende zu berücksichtigen wäre.

Dass der Experimentirende trotz der Nähe des Schirmes seine Augen willkührlich parallel zu stellen vermöge, setze ich voraus. Wer Uebung im Stereoskopiren mit freien Augen hat, wird hierin keine Schwierigkeit finden. Uebrigens aber ist es leicht zu erlernen, und im Nothfalle kann man vor jedes Auge eine Röhre bringen.

Erscheinen die erwähnten Trugbilder der Fäden kurz vor ihrer Verschmelzung nicht parallel, so liegen die »horizontalen Trennungslinien« nicht in der Blickebene und die »vertikalen« nicht senkrecht zu derselben. Convergiren die Trugbilder nach oben, so sind die »vertikalen Trennungslinien« mit dem obern Ende nach aussen geneigt: dann muss man, während man die Augen möglichst an der alten Stelle lässt, den Kopf etwas nach hinten überbeugen, damit die Blickebene sich dem Nasenrücken etwas nähert. Sollten, was bei mir nicht vorkommt, die Trugbilder kurz vor ihrer Verschmelzung nach unten convergiren, so wären die »vertikalen Trennungslinien« entgegengesetzt geneigt, und man müsste den Kopf etwas nach vorn neigen, damit die Blickebene mit dem Nasenrücken einen etwas grösseren Winkel mache. Auf diese Weise wird man bald die richtige Stellung finden.

Wie man sieht, eignet sich der Apparat auch recht gut zur oberflächlichen Beobachtung der Lage der Trennungslinien bei den verschiedenen nach vorn gerichteten Parallelstellungen, ja es lässt sich derselbe mit einigen Abänderungen sogar zur Messung einrichten. Aus den schon gegebnen Andeutungen geht hervor, dass bei parallel nach vorn gestellten Blickrichtungen nur bei gewissen und zwar mittlen Lagen der Blickebene die »horizontalen Trennungslinien« genau in der Blickebene liegen und dass eine zuweit nach oben gerichtete Blickebene eine Divergenz der »vertikalen Trennungslinien« nach oben bedingt, während eine zuweit nach unten gerichtete Blickebene möglicherweise eine Convergenz nach oben bedingen könnte. Bei mir ist jedoch letzteres nicht der Fall, weil es mir bei wachsender Neigung der Blickebene nach unten sehr bald unmöglich wird, die Augen parallel zu erhalten; sie gehen vielmehr dabei sehr bald zwangsweise zur Convergenz über, ein Verhalten, welches in Harmonie steht mit unsrer Gewohnheit, die geradaus oder nach oben gerichteten Augen mehr für die Ferne, die nach unten gerichteten mehr für die Nähe zu gebrauchen. Die geringen Neigungen der Trennungslinien bei gewissen Parallelstellungen kommen übrigens, wie ich schon in § 22 angab, praktischerweise nicht sonderlich in Betracht. Wenn aber Meissner (Beitr. zur Physiol. des Sehorganes p. 86 u. 87) behauptet, die horizontalen Trennungslinien lägen bei senkrecht zur Grundlinie gestellten und also parallelen Sehaxen s t e t s in einer Ebene, so ist dies, für meine Augen wenigstens, nicht ganz richtig.

Sind Augen und Apparat in der vorgeschriebenen Lage, die Blickrichtungen also parallel und senkrecht zur Grundlinie und Schirmebene und die horizontalen Trennungslinien in der Blickebene, so lässt

sich in einfacher Weise finden, ob die der üblichen Theorie nach identischen Stellen es wirklich sind. Angenommen, die Gestalt der Netzhaut wäre uns gänzlich unbekannt, so würden wir die Lage der Deckstellen selbst zunächst ausser Acht zu lassen und nur zu untersuchen haben, welche Lichtrichtungen zu Deckstellen führen. Die Winkelabweichung jeder Lichtrichtung von der Blickrichtung lässt sich nach Grösse und Lage ablesen auf einer kugligen Hülfsfläche, die wir uns mit beliebigem Radius um den Lichtrichtungsknoten gelegt denken. Wo die über den Lichtrichtungsknoten hinaus nach hinten verlängerte Blickrichtung diese Kugelfläche schneidet, liege der Pol; um ihn lege man Parallelkreise und durch ihn Meridiane. Jede beliebige Lichtrichtung ist nun bekannt, wenn man den Parallelkreis und den Meridian kennt, in welchen die Lichtrichtung die Hülfskugelfläche durchschneidet.

Zieht man z. B. um die rechte Nadelinsertion mit beliebigem Radius eine schwarze Kreislinie auf dem weissen Schirme, so gehen die Lichtrichtungen sämmtlicher Punkte dieses Kreises durch einen und denselben Parallelkreis der Hülfskugelfläche; zieht man durch dieselbe Nadelinsertion eine Gerade von beliebiger Richtung, so gehen die Lichtrichtungen sämmtlicher Punkte dieser Geraden durch einen und denselben Meridian der Hülfskugelfläche. Wenn nun Lichtrichtungen, welche auf beiden Hülfskugelflächen denselben Meridian und Parallelkreis durchschneiden, kurz gesagt einander entsprechende Lichtrichtungen zu Deckstellen der Doppelnetzhaut gehören, so muss es in Hinsicht auf die bloss räumliche Wahrnehmung gleichgültig sein, ob wir um die eine Nadelinsertion eine ganze Kreislinie, oder ob wir um beide Nadelinsertionen sich ergänzende Stücke einer Kreislinie legen; beidenfalls müssen wir einen vollständigen Kreis sehen. Ebenso muss es räumlich gleichwerthig sein, wenn wir von der, durch die eine Nadelinsertion gelegten Geraden die eine Hälfte wegnehmen und sie in entsprechender Lage an der andern Nadelinsertion anbringen; auch dann noch müssen wir eine vollständige Gerade, wie zuvor mit einem Auge sehen.

Man lege also (vergl. Fig. 67) um die eine Nadel einen Halbkreis z. B. nach rechts oder oben und um die andre mit demselben Halbmesser einen zweiten Halbkreis nach links oder unten: und man wird stets eine vollständige Kreislinie sehen, gleichgül-

tig, wie gross der Halbmesser gewählt sei.* Hierdurch ist also bewiesen, dass die Lichtrichtungen, welche in beiden Hülfs-



Fig. 67.

kugelflächen durch entsprechende Parallelkreise gehen, zu Netzhautpunkten gehören, welche in ihrer Gesammtheit sich in beiden Augen decken. Ferner ziehe man (vgl. Fig. 67) von der einen Nadelinsertion eine Gerade in beliebiger (radialer) Richtung, und von der andern Nadelinsertion eine zweite Gerade in genau entgegengesetzter (also paralleler) Richtung, und man wird stets eine continuirliche, durch die einfach erscheinende Nadelinsertion hindurchgehende Gerade sehen: Beweis, dass die Lichtrichtungen, welche zu einander entsprechenden Meridianen der Hülfskugelflächen gehören, die Netzhäute in Punkten durchschneiden, welche in ihrer Gesammtheit sich gegenseitig decken. Aus beiden Sätzen folgt sodann, dass Lichtrichtungen zu Deckstellen gehören, wenn sie die beiden Hülfskugelflächen in zwei einander entsprechenden Punkten, d. h. in gleichen Parallelkreisen und gleichen Meridianen durchschneiden. Damit ist der geforderte Beweis der räumlichen Gleichwerthigkeit solcher Netzhautpunkte geliefert, deren Lichtrichtungen in beiden Augen mit der Blickrichtung Winkel von gleicher Grösse und Lage einschliessen,

*) v. RECKLINGHAUSEN hat angegeben (Arch. f. Ophthalmol. Bd. V. Abth. 2. p. 134), dass er einen Kreis von 100—150^{mm} Durchmesser, dessen Ebene mit ihrem Mittelpunkte senkrecht auf der Gesichtslinie des beobachtenden Auges steht, bei einäugiger Betrachtung nicht als Kreis, sondern im Durchmesser von oben und aussen nach unten und innen abgeplattet sehe. Er hat nicht hinzugefügt, bei welchem Abstande vom Auge er beobachtet hat. Bei meinen Augen tritt diese Verzerrung nicht merklich ein und ich kann also hier vorläufig davon absehen,

und mithin die durchgehende Identität der Netzhäute nachgewiesen.

Die Methode übertrifft die bisherigen an Genauigkeit. Zeither hat man zur Aufsuchung der Deckstellen nur Convergenzstellungen benutzt, was den Uebelstand hatte, dass dieselben erst gemessen werden mussten. Ausserdem erfordert die Methode keine Uebung im Unterscheiden der Doppelbilder und vermeidet überhaupt die erheblichen Fehler jener Methode, welche den zuvor theoretisch aus der hypothetischen Lage der Deckstellen abgeleiteten Horopter durch das Einfachsehen zu bestätigen oder gar den Horopter von vornherein empirisch festzustellen und somit indirect die Lage der Deckstellen zu ermitteln sucht.

§. 74.

Wie oben gezeigt wurde, lässt sich der Beweis der Identität der Netzhäute führen, und die Lage der Deckstellen (wenigstens der Richtung nach) bestimmen, ohne dass man Kenntniss hat von der Gestalt der Netzhaut. Die letztere könnte eben, gefaltet oder sonstwie geformt sein, so würden die obigen Versuche immerhin beweisen, dass auf beiden Netzhäuten die, zu gleichen Lichtrichtungen gehörigen Punkte Deckstellen sind. Die Gestalt der Netzhaut ist also, vorausgesetzt dass sie eine unveränderliche ist, für die Identität und demnach auch für die Horopterfrage zunächst gleichgültig. Dies ist streng festzuhalten gegenüber der vielverbreiteten, und besonders von Meissner vertretenen Ansicht, dass die Gestalt des Horopters aus der Gestalt der Netzhaut abzuleiten sei. Mag die normale Netzhaut constante Ausbuchtungen haben oder nicht, jedenfalls sind sie für die Horoptergestalt ohne allen Einfluss, wenn es bewiesen ist, dass diejenigen Lichtrichtungen zu Deckstellen führen, welche Winkel von gleicher Grösse und Lage mit den Blickrichtungen einschliessen. Vgl. hierüber auch §. 85.

Ich habe letzteren Satz für meine Augen bewiesen bei ruhender Accommodation derselben. Das so erhaltene Ergebniss gilt aber auch zugleich für jede Nähenaccommodation, vorausgesetzt, dass der Lichtrichtungsknoten auf der früheren Gesichtslinie, d. h. letztere dieselbe bleibt, was vielleicht nicht ganz genau der Fall ist, und dass die Netzhaut eine Krümmung hat, deren Mittelpunkt ebenfalls auf der Gesichtslinie liegt. Auch letzteres entspricht nicht genau der Wirklichkeit, doch kann die geringe Abweichung kaum in Betracht kommen. Rückt bei Accommodation für die Nähe der Lichtrichtungsknoten nach vorn z. B.

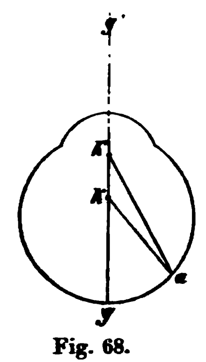


Fig. 68.

von k nach k' (Fig. 68), so wird der Netzhautpunkt a allerdings eine andre Lichtrichtung bekommen, d. h. eine solche, die mit der Blickrichtung gg' einen kleinern Winkel einschliesst. Genau dasselbe wird aber auch im andern Auge der Fall sein, und so werden gleiche Lichtrichtungen immer wieder zu Deckstellen führen müssen. Hätte die Netzhaut dagegen eine unregelmässige, wenngleich in beiden Augen symmetrische Krümmung, so würde die Lage der Deckstellen für verschiedene Accommodationsgrade besonders zu bestimmen sein, ein Punkt, auf welchen ich natürlich hier nicht weiter einzugehen brauche.

§. 75.

v. Recklinghausen (Netzhautfunktionen, Archiv f. Ophthalmol. Bd. V. Abth. 2. p. 143) schlug einen der Grundidee nach ähnlichen Weg ein, um zu beweisen, dass gleiche Parallelkreise der Netzhäute nur Deckstellen enthalten, d. h. identische Kreise sind. Dass dasselbe auch von gleichen Meridianen gelte, setzte er freilich dabei nur voraus. Er ging von der Ueberlegung aus, dass bei Convergenzstellungen der Kegelmantel, welcher von der Gesammtheit der Lichtrichtungen eines Parallelkreises gebildet wird, und welcher den Lichtrichtungsknoten zur Spitze, die Blickrichtung zur Axe hat, eine durch den Fixationspunkt senkrecht zur Medianlinie gestellte Ebene nicht in einem Kreise sondern in einer Ellipse durchschneidet, deren Mittelpunkt für das rechte Auge nach links, für das linke nach rechts vom fixirten Punkte zu liegen kommt. Ich will hier gleich hinzufügen, wie man sich dies Verhältniss in recht eclatanter Weise annähernd veranschaulichen kann. Man zeichne auf eine farbige Ebene eine starke Kreislinie von complementärer Farbe. Hierauf stelle man die Ebene dem einen Auge so gegenüber, dass die Blickrichtung desselben im Mittelpunkte des Kreises senkrecht auf die Ebene trifft. Man fixire nun anhaltend mit dem einen Auge den Mittelpunkt, während das andre Auge geschlossen ist. Dann halte man dem Auge eine andre Ebene von der Farbe der Kreislinie so vor, dass die Blickrichtung unter schiefem Winkel auf die Ebene trifft, und man wird das Nachbild des Kreises in überraschender Deutlichkeit als eine

Ellipse vor sich sehen. Will man sich die Mühe geben, die Ellipse zuvor zu berechnen und auf die zweite Ebene passend aufzuzeichnen, so wird man das elliptisch erscheinende Nachbild mit der gezeichneten Ellipse zur Deckung bringen können. Freilich wird diese elliptische Auslegung eines kreisförmigen Nachbildes ihre engen Grenzen haben, und die Ellipse, in der das Nachbild erscheint, mit einem kürzeren grossen Durchmesser erscheinen, als nach den Gesetzen der Projection erforderlich wäre; denn wir können, wie ich schon öfter hervorhob, zwar die perspectivischen Verkürzungen der Netzhautbilder in der Anschauung einigermassen, aber doch nicht ganz wieder ausgleichen.

Umgekehrt kann sich nun auch bei Convergenzstellungen ein Kreis, dessen Ebene im fixirten Punkte senkrecht zur Medianlinie, also unter schiefem Winkel zur jederseitigen Blickrichtung steht, nicht auf einem Parallelkreise der Netzhaut abbilden, sondern muss eine perspectivische Verzerrung erleiden. Sperrt man jetzt die beiden äussern oder innern Netzhauthälften ab, so wird von beiden Zerrbildern des Kreises nur je eine Hälfte übrigbleiben, und beide auf der Doppelnetzhaut symmetrisch gelegne Hälften werden sich zu einer symmetrischen Figur zusammensetzen, die bei Absperrung der äussern Netzhauthälften meistens, bei Absperrung der innern stets und zwar letzternfalls sehr merklich von einem Kreise abweicht. Man kann dies in der That beobachten, und es ist bei Absperrung der innern Netzhauthälften aus leicht ersichtlichen Gründen sogar sehr eclatant. Man könnte vielleicht erwarten, dass nach Analogie des oben beschriebnen Versuchs die perspectivische Verzerrung der Kreishälften sich auch hier in der Anschauung wieder nahebei ausgleichen lasse, indessen ist dies nicht der Fall und zwar deshalb nicht, weil diese Ausgleichung gleichzeitig für jedes Auge in anderm Sinne erfolgen müsste, was wegen der Identität des Sehfeldes nicht möglich ist. Bei Besprechung des Grössesinns der Netzhaut wird auf diesen Punkt näher einzugehen sein.

Knickt man die Ebene des beobachteten Kreises in ihrem Vertikaldurchmesser, so wird bei bestimmtem Neigungswinkel beider Halbkreisebenen zu einander je eine senkrecht auf einer Blickrichtung stehen. Knickt man die Kreisebene unter entsprechendem Winkel nach vorn, so steht die linke Hälfte der Halbkreisebene senkrecht auf

ler rechten, die rechte senkrecht auf der linken Blickrichtung. Knickt nan nach hinten, so ist das Entgegengesetzte der Fall. Sperrt man iun ersternfalls die innern, letzternfalls die äussern Netzhauthälften b, so bilden sich beide Halbkreise auf identischen Parallelkreisen, ber auf entgegengesetzten Hälften derselben ab, und man muss nun sselbe sehen wie bei der einäugigen Betrachtung eines entsprechenn, auf der Blickrichtung senkrecht stehenden Kreises. v. RECKNGHAUSEN bestimmte bei Absperrung erst der innern, dann der ssern Netzhauthälften den Winkel, bis zu welchem er die beiden albkreisebenen gegeneinander neigen musste, um das Bild eines gelmässigen Kreises zu erhalten, und fand, dass jene Winkel stets n Convergenzwinkel der Blickrichtungen annähernd zu 2 R ernzte, woraus er schloss, dass seine Voraussetzung der Identität gleier Parallelkreise richtig war.

Please 1. Fill in the Number of your Seat.
2. Hand the slip in at the Assistant's desk.

Für die Absperrung der innern Netzhauthälften lasse ich die thode gelten, denn dabei ist die Verzerrung sehr bedeutend, und nn man auch in den Einzelversuchen sicher Fehler von einigen aden begehen kann, so wird sich dies doch vielleicht durch Aufhung eines Mittelwerthes aus vielen Versuchen einigermassen ausichen lassen. Bei Absperrung der äussern Netzhauthälften dagegen n die Verzerrung unter Umständen gleich Null sein, und meist ist wenigstens unbedeutend, was von der Grösse des Convergenzwinls und des Kreisdurchmessers abhängt. Hierbei werden sich also leicht grössere Fehler einschleichen. Ausserdem erfordert die Methode noch die Messung des Convergenzwinkels und ist also im Ganzen für den vorliegenden Zweck etwas verwickelt.

MEISSNER behauptet (Jahresber. f. 1859 p. 606) »dass, wenn der (ebenbeschriebene) Versuch bei ganz genauer Bewahrung des Fixationspunktes, d. h. bei ganz genau constantem parallaktischen Winkel angestellt werde (wozu man indessen einiger Uebung bedürfe), das Resultat keineswegs das von v. RECKLINGHAUSEN angegebene und geltend gemachte sei, auch kein irgend wie in gleichem Sinne geltend zu machendes (eher könne es den Gegenbeweis liefern), dass aber das von v. RECKLINGHAUSEN angegebene Resultat gar leicht zu sehen für jeden, der im Stereoskopiren mit freien Augen geübt sei, aber auch sofort zu erklären sei.« Diese Behauptungen MEISSNER's sind mir um so auffälliger, als ich erstens im festen Fixiren genügende Uebung habe und doch v. RECKLINGHAUSEN's Angaben bestätigen muss, und als ich zweitens zwar im freien Stereoskopiren ebenfalls geübt bin, aber nicht einsehe, inwiefern jemand bei dem Versuche Gelegenheit haben soll, von dieser

Fertigkeit Gebrauch zu machen, da es sich dabei lediglich um indirectes Sehen und nicht um Verschmelzung oder Unterscheidung von Doppelbildern handelt. Nebenbei ergiebt sich übrigens aus dem Versuche, das Irrthümliche von MEISSNER's angeblichem Horopter der convergenten Secundärstellungen (vgl. hierüber noch §. 85 und 86).

§. 76.

Sehr überzeugend lässt sich die im §. 73 bewiesene Identität der Netzhäute, d. h. also auch die Einheit des subjectiven Sehfeldes in folgender Weise demonstriren und dabei zugleich die ganze Projectionstheorie sowie überhaupt die irrige Annahme widerlegen, dass uns die Netzhautbilder auf ihren Lichtrichtungen (Richtungslinien) erscheinen. Man zeichne auf eine Ebene eine zur Grundfärbung stark contrastirende, nicht zu grosse, aber hinreichend breite Kreislinie, fixire dann z. B. mit dem linken Auge bei sehr heller Beleuchtung den Mittelpunkt des mit seiner Ebene senkrecht zur Blickrichtung gestellten Kreises und erzeuge sich somit von letzterem ein recht lebhaftes Nachbild. Hierauf schliesse man das Auge, öffne das zuvor geschlossene rechte Auge und blicke mit demselben z. B. in einen ziemlich finstern Kasten, der jedoch soweit beleuchtet sein muss, um einen dem Auge gegenüber befindlichen markirten Punkt wahrzunehmen, der sich auf einer mattschwarzen, senkrecht zur Blickrichtung stehenden Ebene befindet. Diesen Punkt fixire man anhaltend, und bald wird man das Nachbild des linken geschlossenen Auges im Umkreise des mit dem rechten Auge fixirten Punktes auf der mattschwarzen Ebene auftauchen sehen. H i e r e r s c h e i n t a l s o d a s i m l i n k e n A u g e b e f i n d l i c h e N a c h b i l d a n i d e n t i s c h e r S t e l l e i m S e h f e l d e d e s r e c h t e n A u g e s, w e l c h e s k e i n N a c h b i l d e r h i e l t. Giebt man dem Fixationspunkte des rechten Auges genau denselben Abstand, welchen zuvor der Kreismittelpunkt vom linken Auge hatte, so wird man das Nachbild genau in derselben Grösse sehen, wie zuvor den Kreis selbst. Man kann sich auf der mattschwarzen Fläche einen Kreis von der Grösse des erstbenutzten Kreises, durch einzelne Marken andeuten, und man wird das Nachbild diese Marken decken sehen. D i e s i s t e i n s e h r h a n d g r e i f l i c h e r B e w e i s f ü r d i e E i n h e i t d e s b i n o c u l a r e n S e h f e l d e s; das Bild, das auf der linken Netzhaut erzeugt wurde, wird mit dem rechten

Auge noch dazu an einem Orte gesehen, zu welchem die Richtungslinien des linksäugigen Nachbildes gar nicht hingelangen, auch wenn man sich dieselben durch die geschlossnen Lider hindurch bis zur mattschwarzen Fläche verlängert denkt. Denn es ist eine schon oft hervorgehobene und leicht zu constatirende Thatsache, dass wenn man mit dem einen Auge einen nahen, gerade vor dem Auge gelegnen Punkt fixirt, das andre geschlossne Auge sich nicht auch mit seiner Blickrichtung auf diesen Punkt einstellt, sondern einen viel geringeren Convergenzgrad bewahrt. Oeffnet man dann plötzlich das geschlossne oder auch nur verdeckte Auge, so erscheint der vom andern Auge fixirte Punkt im ersten Augenblicke in sehr distanten ungleichseitigen Doppelbildern. Bei unserm Versuche würden also die Richtungslinien des linksäugigen Nachbildes die mattschwarze Fläche an einem ganz andern Orte, d. h. viel weiter nach links durchschneiden, als wo dem rechten Auge das Nachbild erscheint. Auch müsste dann das Nachbild als Ellipse und nicht als Kreis erscheinen. Ueberhaupt aber ist es eigentlich müssig, den Fall zu berücksichtigen, dass Einer die abenteuerliche Meinung aufstellen könnte, auch bei diesem Versuche werde nach den Richtungslinien gesehen.

Es versteht sich, dass man den Versuch beliebig abändern kann. Erstens kann man Kreise von verschiedenem Durchmesser, dann aber auch gerade Striche von beliebiger Lage, oder einzelne Flecke zur Erzeugung des Nachbildes benützen. Sobald man aber nicht einen Kreis wählt, muss man sich erinnern, dass die Trennungslinien der einen Netzhaut zum nachbilderzeugenden Striche oder dgl. vielleicht nicht genau dieselbe Lage haben wie die Trennungslinien der andern Netzhaut zu den entsprechenden Stellen der mattschwarzen Fläche, denn die eine Netzhaut könnte ja doch im Vergleich zur andern um die Augenaxe ein wenig verdreht sein. Dies wäre also genau genommen mit einzurechnen. Thut man dies, so lässt sich dann die durchgehende Identität der Netzhäute Punkt für Punkt in ganz ähnlicher Weise nachweisen, wie dies im §. 73 nach einer andern und leichteren Methode geschehen ist.

Der mathematische Horopter.

§. 77.

Nachdem der Beweis geführt ist, dass Lichtrichtungen, welche mit den Blickrichtungen Winkel von gleicher Grösse und Lage einschliessen, zu Deckstellen der Doppelnetzhaut führen, lässt sich der Horopter durch Rechnung finden. Ich verstehe hierbei unter Horopter die Gesammtheit der Punkte, in denen sich bei gegebener Augenstellung je zwei zu Deckstellen gehörige Lichtrichtungen durchschneiden. Den durch Rechnung gefundenen Horopter nenne ich den mathematischen im Gegensatze zum empirischen Horopter, welcher direct durch den Versuch bestimmt wird. Der mathematische Horopter kann, wenn er aus gleichen Voraussetzungen berechnet wird, natürlich kein Gegenstand des Streites sein, sofern man richtig rechnet. Diese Voraussetzungen aber waren zeither fast ausschliesslich folgende: 1) dass die Netzhaut eine Kugelkrümmung habe, 2) dass ihr Krümmungsmittelpunkt mit dem Lichtrichtungsknoten zusammenfalle, 3) dass Deckstellen diejenigen seien, die gleichweit und in gleicher Richtung vom Punkte des directen Sehens abstehen. Die ersten beiden Voraussetzungen sind bekanntlich nicht ganz richtig, und die dritte war wenigstens nicht durchgängig bewiesen, woraus sich der Uebelstand ergab, dass man ihre Richtigkeit erst nachträglich durch experimentelle Bestätigung darthun konnte, was aus schon angeführten und noch zu besprechenden Gründen nur annäherungsweise möglich ist.

Nach den Erörterungen des vorigen Abschnittes habe ich keine einzige der drei Voraussetzungen mehr nöthig. Die Gestalt der Netzhaut ist mir für die Horopterberechnung gleichgültig, die Lichtrichtungsknoten sind mir gegeben und die Lage der Lichtrichtungen, welche zu Deckstellen gehören, habe ich experimentell bestimmt.

Ich komme jetzt auf die bereits in §. 6 erörterte Eintheilung der Netzhäute zurück, welche in der Horopterfrage, so wie überhaupt in vielen Fällen, der üblichen Eintheilung nach Parallelkreisen und Meridianen vorzuziehen ist. Ich nenne also die »horizontale Trennungslinie« den mittlen Querschnitt. Durch denselben und die Blickrichtung lege ich eine Ebene und in dieser Ebene durch den Licht-

richtungsknoten eine zur Blickrichtung rechtwinklige Linie; hierauf drehe ich die Ebene um diese Linie als Axe. Je nach der Grösse des Drehungswinkels wird die Netzhaut von der Ebene in bestimmter Richtung durchschnitten: diese Durchschnitte nenne ich die Nebenquerschnitte der Netzhaut und zwar die über dem mittlen Querschnitt gelegnen die obern, die unterhalb gelegnen die untern. Die »vertikale Trennungslinie« nenne ich den mittlen Längsschnitt. Durch ihn und die Blickrichtung lege ich ebenfalls eine Ebene und in letzterer durch den Lichtrichtungsknoten eine zur Blickrichtung rechtwinklige Linie, um welche als Axe ich die Ebene des mittlen Längsschnittes drehe; die so erhaltenen Netzhautschnitte nenne ich Nebenlängsschnitte und unterscheide wieder die rechten und die linken. Die mittlen Quer- und Längsschnitte werden mit 0^0, die Nebenschnitte entsprechend dem Drehungswinkel der erwähnten Ebenen nach Graden bezeichnet. Wäre die Netzhaut eine Kugelfläche mit dem Lichtrichtungsknoten als Krümmungsmittelpunkt, so würde man diese Grade direct an der Netzhaut ablesen können; denn die sämmtlichen Quer- und Längsschnitte wären dann nichts weiter als zwei senkrecht zu einander gestellte Meridiansysteme der Kugelfläche. Die beiden erwähnten Axen, welche sich rechtwinklig im Lichtrichtungsknoten kreuzen, nenne ich die Axe der Längsebenen und die Axe der Querebenen. Querebene (obre, untre, mittle) ist jede durch einen beliebigen Querschnitt und den Lichtrichtungsknoten gelegte Ebene, Längsebene (linke, rechte, mittle) jede durch einen beliebigen Längsschnitt und den Lichtrichtungsknoten gelegte Ebene. Jede Quer- oder Längsebene enthält die Gesammtheit aller, dem entsprechenden Netzhautschnitte zugehörigen Lichtrichtungen. Ein beliebiger Netzhautpunkt ist bestimmt, wenn ich den Quer- und den Längsschnitt kenne, auf denen er liegt.

Von der Gestalt der Netzhaut sowohl als von der Netzhaut überhaupt kann ich nun vorläufig absehen. Zur Horopterbestimmung habe ich nichts weiter nöthig, als die beiden Lichtrichtungsknoten und die beiden Systeme der, in den äussern Raum hinaus verlängerten Schnittebenen. Wenn zwei identische Schnittebenen sich vor den Augen im sichtbaren Raume schneiden (oder zusammenfallen), so muss jeder Punkt der Linie (beziehendlich Ebene), in der dies geschieht, sich auf identischen Netzhautschnitten abbilden. Der Inbegriff der Punkte

im Raume, welche zwei identischen Längsebenen gemein sind, ist also zugleich der Inbegriff der Punkte, welche sich auf identischen Längsschnitten abbilden, sei es, dass ihr Bild zugleich auch auf identischen Querschnitten d. h. völlig identisch, sei es, dass es auf differenten Querschnitten liegt. Die Gesammtheit der Orte, wo identische Längsebenen sich schneiden, heisse der Horopter der Längsschnitte, die Gesammtheit der Orte, wo identische Querebenen sich schneiden, Horopter der Querschnitte. Der eigentliche Horopter, d. i. der Horopter der Deckstellen ist dann also die Gesammtheit der Orte, welche ebensowohl im Querschnitt- als im Längsschnitthoropter liegen, d. h. beiden Horopteren gemeinsam sind.

Demnach werde ich für die verschiedenen Augenstellungen zuerst den Horopter der Längsschnitte, sodann den der Querschnitte und endlich die Durchschnittsorte beider bestimmen.

§. 78.

Gerade Fernstellung mit gleichliegenden Mittelschnitten (Primärstellung und parallele Secundärstellungen Meissner's). Liegen beide Blickrichtungen senkrecht zur Grundlinie und die mittlen Längsschnitte parallel, so stehen je zwei identische Längsebenen parallel, schneiden sich also so zu sagen in unendlicher Ferne, je zwei identische Querebenen aber fallen zusammen, schneiden sich also so zu sagen überall. Demnach ist der Horopter der Längsschnitte eine in unendlicher Ferne senkrecht auf den Blickrichtungen stehende Ebene, der Horopter der Querschnitte der gesammte Raum nach seinen drei Dimensionen. Die auf den Blickrichtungen senkrechte unendlich ferne Ebene ist also zugleich der Horopter der Deckstellen, denn sie enthält die Punkte, welche beiden Horopteren gemeinsam sind.

§. 79.

Gerade Fernstellung mit symmetrisch geneigten Mittelschnitten. Liegen beide Blickrichtungen senkrecht zur Grundlinie und sind die mittlen Längsschnitte symmetrisch mit den oberen

Enden nach aussen (oder innen) geneigt, so convergiren je zwei identische Längsebenen nach unten (oder oben) und schneiden sich in einer der Blickebene parallelen Ebene, deren Vertikalabstand von der Blickebene abhängt von der Neigung der mittlen Längsschnitte oder, was dasselbe besagt, von dem Convergenzwinkel der mittlen Längsebenen (vulgo Convergenz der vertikalen Trennungslinien nach unten oder oben). Ist g die halbe Grundlinie, x der Neigungswinkel des mittlen Längsschnitts zur Blickebene, so ist $g \tang x$ der Abstand jener Ebene, welche sämmtliche Durchschnittslinien der identischen Längsebenen enthält und demnach den Horopter der Längsschnitte darstellt. Je zwei identische Querebenen convergiren nach oben (oder unten) und schneiden sich in einer Ebene, welche auf der Mitte der Grundlinie senkrecht steht, d. h. in der Medianebene, welche also den Horopter der Querschnitte darstellt. Beide Horopteren schneiden sich in einer der Medianebene angehörigen und der Blickebene parallelen Linie, die bei einem Abstande $= g \tang x$ unterhalb (oder oberhalb) der Blickebene gelegen ist und den Horopter der Deckstellen bildet.

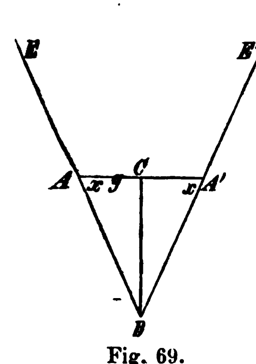


Fig. 69.

Beweis. $EDE'C$ sei eine durch die Grundlinie AA' vertikal zur Blickebene gelegte Ebene; DE und DE' seien die Durchschnitte der mittlen Längsebenen durch jene Ebene (Axen der Längsebenen) und also x der Neigungswinkel der mittlen Längsschnitte zur Blickebene; AC d. i. die halbe Grundlinie heisse g: dann ist $\frac{CD}{g} = \tang x$; $CD = g \tang x$.

Je zwei andre identische Längsebenen müssen die Vertikalebene $EDE'C$ ebenfalls in ED und $E'D$ durchschneiden, sich selbst also ebenfalls im Punkte D. Ausserdem ist leicht ersichtlich, dass je zwei identische Längsebenen die Blickebene in parallelen Linien durchschneiden müssen, woraus wieder folgt, dass sie sich selbst in einer der Blickebene parallelen Linie durchschneiden. Sämmtliche Durchschnittslinien der identischen Längsebenen gehen also durch D und zwar parallel der Blickebene, bilden demnach in ihrer Gesammtheit eine der Blickebene parallele, durch D gelegte Ebene.

Je zwei identische Querebenen müssen sich darum in der Medianebene schneiden, weil sie symmetrisch gegen dieselbe geneigt sind.

§. 80.

G e r a d e N a h s t e l l u n g m i t g l e i c h l i e g e n d e n M i t t e l s c h n i t t e n (convergente Secundärstellungen MEISSNER's). Convergiren die Blickrichtungen symmetrisch und stehen die mittlen Längsschnitte senkrecht zur Blickebene, so convergiren je zwei identische Längsebenen nach vorn (und zwar alle unter demselben Winkel) und schneiden sich in einer zur Blickebene vertikalen Linie. Die Gesammtheit dieser Durchschnittslinien bildet einen Cylindermantel, welcher die Blickebene senkrecht durchschneidet in einem durch den Fixationspunkt und die beiden Lichtrichtungsknoten gelegten Kreise. Dieser Cylindermantel, welchen JOH. MÜLLER für den Horopter der Deckstellen überhaupt hielt, ist also nur der Horopter der Längsschnitte. Die beiden mittlen Querebenen fallen zusammen; je zwei Nebenquerebenen schneiden sich in einer zur Blickebene geneigten, in der Medianebene gelegenen Linie und die Gesammtheit dieser Durchschnittslinien bildet die Medianebene. Blickebene und Medianebene zusammen bilden also den Horopter der Querschnitte. Derselbe schneidet den Horopter der Längsschnitte in einem durch den Fixationspunkt und die Lichtrichtungsknoten gelegten Kreise und in einer auf diesem Kreise senkrechten und in der Medianebene gelegnen Geraden. K r e i s u n d G e r a d e b i l d e n a l s o d e n H o r o p t e r d e r D e c k s t e l l e n.

S c h i e f e N a h s t e l l u n g m i t g l e i c h l i e g e n d e n M i t t e l s c h n i t t e n. Convergiren die Blickrichtungen unsymmetrisch, während die mittlen Längsschnitte vertikal zur Blickebene liegen oder unter gleichem Winkel und in gleicher Richtung zu derselben geneigt sind, so ergiebt sich durch ähnliche Betrachtung genau derselbe Horopter der Deckstellen; der einzige Unterschied ist der, dass die zur Blickebene vertikale Horopterlinie jetzt nicht mehr, wie vorhin, zugleich durch den fixirten Punkt geht, sondern dass dieser seitlich auf der Horopterkreislinie liegt.

Mit einem ausführlichen Beweise dieser bekannten Horopterlinien brauche ich mich nicht aufzuhalten. Er ist zuerst ausführlich von A. PRÉVOST, allerdings nach einer andern Methode und unter den oben (§. 77) angeführten nicht streng bewiesenen Voraussetzungen gegeben worden. Nachdem PRÉVOST in seiner ersten Abhandlung (*Essai sur la*

théorie de la vision binoculaire Genève 1843) nur die symmetrischen Convergenzstellungen berücksichtigt hatte, dehnte er später (POGGENDORFF's Annalen der Phys. 1844. Bd. 62. S. 548) die Betrachtung auch auf die unsymmetrischen Convergenzstellungen aus, wobei er immer gleichliegende Mittelschnitte voraussetzte.

BURCKHARDT (Ueber Binokularsehen, Verhandl. d. naturforsch. Ges. in Basel I. Th. p. 123) hat sich, auf denselben Voraussetzungen fussend, den Angaben PRÉVOST's angeschlossen, nachdem er unabhängig von ihm und auf anderm Wege zu demselben Ergebniss gelangt war. Dass die vertikale Horopterlinie bei unsymmetrischen Convergenzstellungen nicht durch den fixirten Punkt gehen kann, hat er unberücksichtigt gelassen, dagegen hat er Folgendes (S. 126) ergänzend hinzugefügt: »Horizontal doppelt erscheinen alle Punkte, welche 1) in der Horopterebene (d. i. Visirebene), 2) in einer Ebene liegen, welche senkrecht auf der Mitte der Verbindungslinie beider Augenmittelpunkte steht (d. i. Medianebene). Vertikal doppelt erscheinen alle Punkte, welche auf einem Cylinder liegen, dessen Erzeugungskreis der Horopter, und dessen Achse senkrecht auf demselben steht.«

»Für alle andern Punkte des Raumes tritt zugleich eine vertikale und seitliche Verschiebung ein.«

»Die beiden genannten Ebenen, in welchen sich alle horizontal doppelt gesehenen Punkte befinden, und der Cylinder, welcher alle vertikal doppelt gesehenen enthält, schneiden sich aber in dem MÜLLER'schen Horopterkreise und in den beiden dazu senkrechten Linien, welche oben sind construirt worden« (d. i. PRÉVOST's vertikale Horopterlinie).

BURCKHARDT hat sich mit der Angabe dieser Ergebnisse begnügt, ohne seine Methode und Beweisführung hinzuzufügen. Es ist aber wahrscheinlich, dass er von derselben Netzhauteintheilung ausgegangen ist, die ich zu Grunde gelegt habe. Bei der Verwerthung seiner Ergebnisse hat jedoch BURCKHARDT die irrige Voraussetzung gemacht, dass ein Aussenpunkt, welcher sich auf identischen Längsschnitten, aber nicht auf identischen Punkten derselben abbildet, »vertikal doppelt«, einer, der sich auf identischen Querschnitten aber differenten Längsschnitten abbildet, »horizontal doppelt« erscheinen müsse. Dies ist streng genommen nicht der Fall. Es würde richtig sein, wenn (beide Netzhäute einmal als eine gedacht) der Winkel der beiden Schnittebenen, in denen die Lichtrichtungen zweier Netzhautbildpunkte liegen, das Maassgebende für deren scheinbare horizontale oder vertikale Distanz wäre. Nun aber erscheinen zwei gerade Parallelen, die in einer auf der Blickrichtung senkrechten Ebene liegen, bei fester einäugiger Fixation keineswegs genau parallel, vielmehr zeigen beide eine schwache Krümmung, deren Concavität sie einander zuwenden, so dass sie ein wenig nach oben und unten convergiren. Dasselbe ist der Fall, wenn ich bei Secundärstellung die eine Parallele im einen, die andre im andern Auge abbilde, oder wenn ich mir bei Secundärstellung das Doppelbild einer Geraden erzeuge, die in einer zur Medianlinie senkrechten Ebene gelegen ist. Gleichwohl können dabei die Netzhautbilder auf Längs- oder Querschnitten liegen, wenn

nehmlich die Beobachtungslinie in der Medianebene oder in der Blickebene oder einer von beiden parallel liegt. Letzternfalls müssten die Doppelbilder nach BURCKHARDT nur vertikal oder horizontal verschoben, also stets streng parallel erscheinen. Die Verzerrung rührt z. Th. von der Netzhautkrümmung her, infolge deren zwei Quer- oder Längsschnitte in ihren peripherischen Theilen sich mehr und mehr nähern und endlich durchschneiden. Reizte man daher in einem Auge z. B. den Punkt (oder Pol), wo sämmtliche Querschnitte sich an der Nasenseite durchschneiden, und in demselben (oder im andern) Auge einen möglichst peripherisch gelegnen Punkt des mittlen Längsschnittes, so würden die beiden gereizten Punkte auf einem und demselben (oder auf identischen) Querschnitte liegen, müssten also nach BURCKHARDT's Voraussetzung bei gewöhnlicher Kopfstellung in einer Horizontalen erscheinen, während doch in Wahrheit der eine gerade nach aussen, der andre nach oben oder unten erscheint. Bei Besprechung des Grössesinns der Netzhaut wird auf jene Verzerrung ausführlich zurückzukommen und auch zu erörtern sein, warum dieselbe nicht in den optischen Medien begründet sein kann. Vergl. übrigens §. 89.

Auch v. RECKLINGHAUSEN, Arch. f. Ophthalm. Bd. V. Abth. II. S. 127) bestimmte den Horopter bei Secundärstellung. Er ging davon aus, dass die beiden Lichtrichtungen eines Aussenpunktes in einer Ebene liegen, welche bestimmt ist durch den Aussenpunkt und die beiden Lichtrichtungsknoten. Angenommen nun, dass es identische Meridiane und Parallelkreise giebt, so müssen die beiden Lichtrichtungen des Aussenpunktes identische Meridiane in identischen Parallelkreisen (d. h. bei gleichem Winkel mit den Blickrichtungen) durchschneiden, wenn der Aussenpunkt sich auf Deckstellen abbilden soll. v. RECKLINGHAUSEN wählte auf der einen Netzhaut einen beliebigen Punkt eines beliebigen Meridians und nannte den Winkel, zwischen letzterem und dem in der Blickebene gelegenen Meridiane α, zog sodann vom gewählten Punkte die zugehörige Lichtrichtung und nannte den Winkel, den sie mit der Blickrichtung einschloss ξ. Hierauf legte er durch diese Lichtrichtung und den Lichtrichtungsknoten des andern Auges eine Ebene; aus dem Punkte, in dem dieselbe den identischen Meridian dieses andern Auges durchschnitt, zog er ebenfalls die zugehörige Lichtrichtung und nannte die Winkel zwischen ihr und der entsprechenden Blickrichtung ξ'. Wäre nun $\xi'=\xi$, so würden die beiden gezognen Lichtrichtungen zu identischen Punkten gehören. Indem er nun den halben Convergenzwinkel der Blickrichtungen φ nannte, suchte er die Formel für das Verhältniss des Winkels ξ zu ξ' und fand $\operatorname{cotg} \xi' = \operatorname{cotg} \xi + 2 \operatorname{tg} \varphi \cos \alpha$. Diese Formel lehrt, dass nur in ganz bestimmten Fällen $\xi'=\xi$ wird, d. h. wenn $2 \operatorname{tg} \varphi \cos \alpha = o$ ist, dass also nur in diesen besondern Fällen die Lichtrichtungen identischer Punkte in einer Ebene liegen, also auch nur dann sich schneiden können und also endlich nur dann zwei identische Punkte von einem und demselben Aussenpunkte das Bild erhalten können.

v. RECKLINGHAUSEN erläuterte seine Formel folgendermassen: »Wird $\varphi=0$, so ist die Möglichkeit der Durchschnittspunkte im Raume gegeben, wenn $\xi=\xi'$; wird $\alpha=R$, $\cos \alpha=0$, so ist dasselbe der Fall; für

$\alpha = 0$, für die horizontalen Meridiane endlich bleiben selbstverständlich die Richtungslinien in einer Ebene.«

MEISSNER (Jahresber. für 1859 S. 602) hat die Betrachtung v. RECKLINGHAUSEN's angegriffen. Er erklärte sie überdem als zur »feineren Ausarbeitung« dessen gehörig, um dessen »Ermittelung in den Hauptzügen« es sich vorerst immer nur gehandelt habe, als eine jener feineren Correcturen zu der, seiner Meinung nach, von ihm im Allgemeinen festgestellten Horopterlehre. Dagegen ist zu sagen, dass die erwähnte Formel gerade eine allgemeine Grundlage für die theoretische Entwicklung des Horopters der Secundärstellungen enthält und dass sie zur Horopterlehre MEISSNER's in keiner andern Beziehung steht, als dass sie dieselbe in theoretischer Hinsicht als falsch erweist.

MEISSNER sagt weiter: »Der Verfasser scheint aber auch in der That nicht recht bemerkt zu haben, um was es sich bei seiner Berechnung eigentlich handelt, denn die ganze Art, wie der Verf. das, was seine vollkommen richtige Schlussformel aussagt, in Worten ausdrückt, passt nicht für alle möglichen Fälle, die in der Formel enthalten sind, und so kommt es, dass der Verf. für einen dieser Fälle seine Formel verlässt, die grade dort ihn auf die richtige Bedeutung hätte hinführen müssen.« Ferner: »Die Gleichung sagt nun aus, dass das Verhältniss der Winkel ξ und ξ' abhängig ist von φ, und in dieser Abhängigkeit liegt auch das, worauf es ankommt und was für einen Theil der möglichen Fälle so ausgedrückt werden kann, wie der Verf. es ausdrückt. Das vom Verf. in Betracht gezogene Hinderniss gegen die Möglichkeit des Einfachsehens in gewissen Theilen des Gesichtsfeldes ist nämlich vorhanden in allen den Fällen, in denen der zweite Summand rechts in jener Gleichung nicht gleich Null ist. Nun aber meint v. RECKLINGHAUSEN, dieses Hinderniss sei selbstverständlich nicht vorhanden dann, wenn der Winkel $\alpha = 0$ ist, d. h. dann, wenn nur solche Richtungsstrahlen in Betracht kommen, die in der Visirebene liegen, also nur solche Raumpunkte, die in der Visirebene liegen. Durch das Wort selbstverständlich scheint der Verf. andeuten zu wollen, dass man für den genannten Fall die Gleichung nicht nöthig habe, um einzusehen wie die Sache sich gestalte. Die Gleichung ist aber da, und sie sagt das Gegentheil aus von dem, was der Verf. für selbstverständlich zu halten scheint; zwar ist das unbestreitbar, dass dann die Richtungsstrahlen in einer Ebene bleiben, aber eben darauf kommt es nicht allein an; bleiben wir dabei stehen, jenes in des Verfs. Rechnung sich herausstellende Hinderniss für die Möglichkeit des genauen Einfachsehens gilt auch für den Fall, dass die betreffenden Richtungsstrahlen in der Visirebene liegen, denn wenn $\alpha = 0$ ist, so ist $\cos\alpha = 1$, folglich heisst für diesen Fall die Gleichung $\cot\xi' = \cot\xi + 2\,\mathrm{tg}\,\varphi$, und darin liegt vollkommen der Natur der Sache entsprechend ausgedrückt, dass jener Einfluss der Perspective für seitliche Objecte (Object muss immer gleichbedeutend mit Abstand zwischen Fixationspunkt und einem seitlichen Punkt verstanden werden) nur von dem parallaktischen Winkel φ abhängt, wenn nur Punkte in der Visirebene in Betracht kommen sollen.«

Indessen liegt in der Gleichung $\cot\xi' = \cot\xi + 2\,\mathrm{tang}\,\varphi$ zunächst

nichts weiter ausgedrückt, als dass eine Lichtrichtung des einen Auges, welche mit der entsprechenden Blickrichtung den Winkel ξ' einschliesst, in derselben Ebene liegen kann mit einer Lichtrichtung des andern Auges, welche einen Winkel von (um 2 tang φ) grösserer Cotangente mit der zugehörigen Blickrichtung einschliesst. Da nun, wenn $\alpha = 0$ wird, alle Lichtrichtungen in einer Ebene liegen, dies aber aus der Formel also nur für je zwei in dem bestimmten Verhältnisse zu einanderstehende Lichtrichtungen hervorgeht, so kann die Formel nicht, wie Meissner behauptet, »vollkommen richtig« sein, und sie ist es auch nicht. v. Recklinghausen leitete sie aus folgenden zwei Gleichungen ab:

$$\cot \xi \cos \varphi = \cot E \sin \alpha - \sin \varphi \cos \alpha \quad (1)$$
$$\cot \xi' \cos \varphi = \cot H \sin \alpha + \sin \varphi \cos \alpha \quad (2)$$

Da nun $\angle E$ nach den gemachten Voraussetzungen $= \angle H$ war, so liess v. Recklinghausen die beiden Glieder $\cot E \sin \alpha$ und $\cot H \sin \alpha$ bei der Subtraction der untern Gleichung von der obern sich aufheben und erhielt daher $\cot \xi \cos \varphi - \cot \xi' \cos \varphi = -2 \sin \varphi \cos \alpha$, woraus sich die obige Schlussformel ergiebt. Die Gleichungen 1 und 2 sind aber nicht ganz allgemein, d. h. nicht auch für den Fall brauchbar, wo die Winkel ξ und ξ' in der Blickebene liegen. v. Recklinghausen brauchte hierauf nicht besonders einzugehen, weil man für diesen Fall die Gleichung nicht nöthig hat. Die Folge davon war, dass seine Schlussgleichung, wenn man ξ und ξ' in der Ebene annimmt, nur einem aus der unendlich grossen Zahl der hier möglichen Fälle Ausdruck giebt. Weil nun Meissner hierin Veranlassung findet, v. Recklinghausen vorzuwerfen, er habe nicht recht gewusst, worum es sich eigentlich handle, und weil Meissner sehr sonderbare Consequenzen aus jener Schlussgleichung zieht, so will ich die Gleichung in allgemeingültiger, d. h. nicht bloss für den Raum, sondern auch zugleich für die Ebene gültiger Weise entwickeln.

Winkel E ist unter allen Umständen $=$ Winkel H, und $\cot E$ ist $= \frac{\cos E}{\sin E}$; demnach kann ich für die Gleichungen 1 und 2 folgende setzen:

$$\cot \xi \cos \varphi = \frac{\cos E \sin \alpha}{\sin E} - \sin \varphi \cos \alpha$$
$$\cot \xi' \cos \varphi = \frac{\cos E \sin \alpha}{\sin E} + \sin \varphi \cos \alpha$$

Beide mit $\sin E$ multiplicirt, giebt:

$$\cot \xi \cos \varphi \sin E = \cos E \sin \alpha - \sin \varphi \cos \alpha \sin E$$
$$\cot \xi' \cos \varphi \sin E = \cos E \sin \alpha + \sin \varphi \cos \alpha \sin E$$
$$\overline{(\cot \xi - \cot \xi') \cos \varphi \sin E = -2 \sin \varphi \cos \alpha \sin E}$$

Wird jetzt $\alpha = 0$, so wird auch $E = 0$ und $\sin E = 0$, also die Gleichung identisch d. h. sie lautet nun $0 = 0$; für alle übrigen Fälle aber ergiebt sich v. Recklinghausen's Schlussgleichung $\cot \xi' = \cot \xi + 2 \tang \varphi \cos \alpha$.

Wenn Meissner nun für den Fall, dass $\alpha = 0$ wird, aus dieser nicht allgemein gültigen Gleichung ableiten will, »es liege darin vollkommen der Natur der Sache entsprechend ausgedrückt, dass der Einfluss der Perspective für seitliche Objecte nur von dem parallaktischen Win-

kel φ abhänge, wenn nur Punkte in der Visirebene in Betracht kommen sollen,« so ist er zu dieser auffälligen Bemerkung vielleicht durch die Entdeckung verleitet worden, dass jene Formel allerdings das Verhältniss der beiden verschiedenen Gesichtswinkel ausdrückt, unter welchen den beiden Augen bei symmetrischer Convergenzstellung eine der Grundlinie parallele und den fixirten Punkt mit dem einen Ende berührende Linie erscheint. Für den Standpunkt, aus welchem die Formel von v. Recklinghausen entwickelt wurde, ist dies natürlich ganz zufällig, und ausserdem liegen seitliche Objecte, wenn man darunter einmal mit Meissner den Abstand zwischen Fixationspunkt und einem seitlichen Punkte versteht, doch nicht immer der Grundlinie parallel, sondern dies ist nur einer unter zahllosen Fällen und nur für ihn allein passt zufällig jene Formel.

Uebrigens aber hätte Meissner umsomehr Grund gehabt, den für beide Augen verschiedenen Gesichtswinkel der seitlichen d. h. also hier speciell der, in der eben erwähnten Linie befindlichen Objecte nicht besonders zu betonen, als diese Linie seine horizontale Horopterlinie ist, also eben die Linie, für welche seiner Meinung nach der Einfluss der für beide Augen verschiedenen Perspective durch eine »einseitige Ausbuchtung der Netzhaut« wieder ausgeglichen werden soll. Meissner ist daher in directem Widerspruche mit sich selbst sowohl, als mit dem Begriffe des Horopters, wenn er S. 606 sagt, man könne »vorläufig streng genommen nur dann von einer horizontalen Horopterlinie reden, wenn man die ungleichen perspectivischen Verhältnisse für die beiden Augen unberücksichtigt lasse,« denn erstens ist man, wenn man den Horopter aufsucht, eben in der umfassendsten Berücksichtigung jener perspectivischen Verhältnisse begriffen und kann demnach sehr wohl von einer horizontalen Horopterlinie reden, wenngleich nicht wie Meissner von einer geraden, sondern von einer kreisförmigen, und zweitens hat also Meissner sich durch jene Bemerkung selbst ein dementi gegeben, denn wenn er seinen Horopter ohne Berücksichtigung jener perspectivischen Verhältnisse gefunden hat, so hat er selbstverständlich etwas Falsches gefunden. Uebrigens aber hatte ja Meissner gerade wegen jener perspectivischen Verhältnisse die freilich unhaltbare Hypothese der Netzhautausbuchtung gemacht.

l. c. S. 605 sagt Meissner ferner: »Wenn man einmal auf das von v. Recklinghausen angeregte Moment, auf die verschiedene Grösse der Netzhautbilder eines ungleich weit entfernten Objectes eingeht, so fällt von dieser Seite her nicht nur der flächenhafte Horopter, sondern überhaupt jede Ausdehnung des Horopters über die Medianebene hinaus, es bleibt dann nur eine beziehungsweise vertikale Horopterlinie übrig.« Dass ein seitliches Object, welches nicht (wie z. B. ein im Müller'schen Horopterkreise gelegner feiner Faden oder noch besser eine ebenso gelegne Trennungslinie zwischen einer weissen und schwarzen Cylinderfläche) ganz streng nur im Horopterkreise liegt, sondern sich nach oben oder unten darüber hinaus erstreckt, verschieden grosse, d. h. nicht in allen Theilen identisch gelegne Netzhautbilder liefert, ist ein Moment, welches nicht erst v. Recklinghausen, sondern derjenige zuerst angeregt hat,

welcher sich zuerst darüber klar wurde, dass der seitliche Horopter nicht in einer Fläche, sondern lediglich in der bekannten Kreislinie besteht. Dies angeblich neue Moment, welches nach MEISSNER's Meinung den seitlichen Horopter ausschliesst, fordert ihn vielmehr mit mathematischer Strenge. Dass es dagegen den flächenhaften Horopter völlig ausschliesst, ist längst dargethan: wenn MEISSNER ebenfalls zugiebt, dass »von dieser Seite her der flächenhafte Horopter falle«, so scheint er dies nur angeführt zu haben, um seiner Meinung nach, die Rechnung v. RECKLINGHAUSEN's *ad absurdum* zu führen; denn kurz vorher S. 604 sagte er: »derlei Fragen, wie die von v. RECKLINGHAUSEN angeregte, ständen, zunächst in gar keiner Beziehung zu der Frage, wie gestalten sich von Seiten der absoluten und relativen Lagen der correspondirenden Netzhautpunkte bei den verschiedenen Augenstellungen die Verhältnisse des Horopters; und von dieser Seite, von der aus die Grundlage für die Lehre vom Horopter gegeben werden müsse, bleibe die Behauptung bestehen, und auch ganz unberührt durch v. RECKLINGHAUSEN's Ableitungen, dass es in allen Secundärstellungen einen flächenhaften Horopter gebe.« Nun aber hat v. RECKLINGHAUSEN nichts weiter gethan, als die Frage, wie gestalten sich im Besonderen bei Primärstellung und Secundärstellungen die Verhältnisse des Horopters, mit Umsicht und Sachkenntniss richtig beantwortet. Wie also MEISSNER sagen kann, seine Arbeit stehe zunächst »in gar keiner Beziehung« zu der Frage nach dem Horopter bei verschiedenen Augenstellungen, ist um so weniger abzusehen, als gerade Primärstellung und Secundärstellung die wichtigsten Augenstellungen sind, während alle übrigen praktisch weit weniger in Betracht kommen.

§. 81.

Gerade Nahstellung mit symmetrisch geneigten Mittelschnitten (Tertiärstellungen MEISSNER's). Convergiren die Blickrichtungen symmetrisch nach vorn und sind beide mittle Längsschnitte unter gleichem Winkel mit dem obern Ende nach aussen (oder innen) geneigt, so convergiren je zwei identische Längsebenen nach unten (oder oben) und schneiden sich in einer zur Blickebene geneigten Geraden. Die Gesammtheit dieser Durchschnittslinien bildet den Mantel eines schiefen Kegels, der die Blickebene in einem, durch den Fixationspunkt und die beiden Lichtrichtungsknoten gehenden Kreise durchschneidet und dessen Spitze senkrecht unter (oder über) dem hintern Durchschnittspunkte dieses Kreises und der Medianlinie mit einem Abstande $= \frac{g \tan x}{\cos \varphi}$ gelegen ist, wenn x den Neigungswinkel der mittlen Längsschnitte zur Blickebene, g die halbe Grundlinie und φ den halben Convergenzwinkel der Blickrichtungen bedeutet.

Dieser Kegelmantel ist somit der Horopter der Längsschnitte. Je zwei identische Querebenen schneiden sich in einer, in der Medianebene liegenden, zur Blickebene verschieden geneigten Geraden, und die Gesammtheit dieser Durchschnittslinien ist eine mit der Medianebene zusammenfallende Ebene. Diese ist der Horopter der identischen Querschnitte. Beide Horopteren schneiden sich in einer, in der Medianebene gelegenen und zur Blickebene unter einem Winkel geneigten Geraden, dessen Tangente $= \sin \varphi \tan x$ ist. Diese Linie, d. i. also der Horopter der Deckstellen, ist mit dem obern Ende vom Gesichte weggeneigt, wenn die mittlen Längsschnitte mit dem obern Ende nach aussen geneigt sind, dem Gesichte zugeneigt, wenn diese Schnitte entgegengesetzt geneigt sind.

Der Gang des Beweises ist kurz folgender: Die beiden mittlen Längsebenen sind symmetrisch zur Medianebene geneigt, müssen sich also in dieser schneiden. Ihre Durchschnittslinie muss zugleich selbstverständlich durch den fixirten Punkt gehen; es ist der Winkel zu bestimmen, den sie mit der Blickebene einschliesst. In Fig. 70 sei F der fixirte Punkt, A der linke Lichtrichtungsknoten, DF die Medianlinie, DAF liegt also in der Blickebene. Die untre (oder obre) Hälfte der in DF senkrecht stehenden Medianebene denke ich mir auf die Papierebene umgelegt, ebenso die untre (oder obere) Hälfte einer in AD senkrecht zur Blickrichtung AF stehenden Ebene, welche also die Axe der Längs- und die Axe der Querebenen enthält. AB sei die Axe der Längsebenen, in AB also wird die Axenebene von der mittlen Längsebene durchschnitten, während die Medianebene in FB' von letzterer durchschnitten wird; B und B' bezeichnet daher denselben Punkt auf der Durchschnittslinie (DB und DB') der Axenebene mit der Medianebene; der Winkel DAB d. i. der Neigungswinkel der mittlen Längsebene, mithin auch des mittlen Längsschnittes zur Blickebene heisse x, der Winkel DFA, d. i. der halbe Convergenzwinkel der Blickrichtungen heisse φ, der Winkel $B'FD$ d. i. der Neigungswinkel der Durchschnittslinie der mittlen Längsebenen (i. e. der Horopterlinie) heisse $\varkappa$.

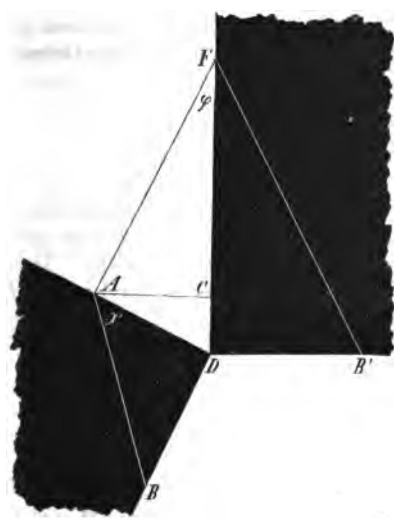


Fig. 70.

$$\frac{DF}{AD} = \frac{1}{\sin\varphi};\; DF = \frac{AD}{\sin\varphi};$$

$$\frac{BD}{AD} = \text{tang}\, x;\quad B'D = BD = AD\, \text{tang}\, x;\quad \frac{B'D}{DF} = \text{tang}\, n = \frac{AD\, \text{tang}\, x}{\frac{AD}{\sin\varphi}}$$

$= \sin\varphi\, \text{tang}\, x.$

Die Linie, in der je zwei beliebige identische Längsebenen sich durchschneiden, ist bestimmt, wenn man zwei Punkte der ersteren kennt. Der eine dieser Punkte ist für sämmtliche Paare der Längsebenen der Punkt B (oder B') in der Medianebene, denn in ihm kreuzen sich die recht- und linkäugige Axe der sämmtlichen Längsebenen. Die Gesammtheit der zweiten Punkte ist die durch den Fixationspunkt und die Lichtrichtungsknoten gelegte Kreislinie, denn eine beliebige rechtäugige Längsebene schneidet die Blickebene in einer Linie, die mit der rechten Blickrichtung denselben Winkel einschliesst, wie die entsprechende Durchschnittslinie der identischen linken Längsebene mit der linken Blickrichtung, beide Durchschnittslinien schneiden sich demnach in dem erwähnten Kreise, und wir haben hier einen zweiten Punkt des gesuchten Durchschnitts der zwei Längsebenen. Als Gesammtheit der Durchschnittslinien der identischen Längsebenen ergiebt sich also der oben angegebene Kegelmantel. Die Spitze (B) desselben liegt in der Medianebene vertikal unter oder über D, und BD ist der Vertikalabstand der Kegelspitze von der Blickebene. Nennen wir AC, d. i. die halbe Grundlinie, g, so ist

$$\frac{AD}{g} = \frac{1}{\cos\varphi};\; AD = \frac{g}{\cos\varphi};$$

$$\frac{BD}{AD} = \text{tang}\, x,\; BD = AD\, \text{tang}\, x = \frac{g\, \text{tang}\, x}{\cos\varphi}.$$

Je zwei identische Querebenen sind symmetrisch zur Medianebene geneigt, müssen sich daher in dieser schneiden, sodass die Ebene aller dieser Durchschnittslinien mit der Medianebene zusammenfällt. Dass letztere den erwähnten Kegelmantel nach vorn hin nur in der Linie $B'F$ und in deren Verlängerung über F hinaus schneiden kann, ist selbstverständlich.

§. 82.

Schiefe Nahstellung mit ungleich gelegnen Mittelschnitten. Convergiren die Blickrichtungen unsymmetrisch und sind beide mittle Längsschnitte zur Blickebene irgendwie, jedoch nicht unter gleichem Winkel nach derselben Seite, geneigt, oder ist auch nur ein mittler Längsschnitt geneigt, so bildet der Horopter der Längsschnitte sowohl als der Horopter der Querschnitte eine Fläche höherer Ordnung und beide Horopteren durchschneiden sich in

einer Curve doppelter Krümmung d. i. in einer im Raume gewundenen Linie, welche durch den Fixationspunkt läuft. Diese Linie ist der Horopter der Deckstellen.

Es hätte nur noch mathematisches und kaum noch physiologisches Interesse, wollte ich auf die Gestalt dieser Horoptercurve und auf eine etwaige Entwicklung ihrer Formel eingehen. Dass der Horopter der erwähnten Augenstellungen eine Linie und nicht ein blosser Punkt sein muss, ist leicht einzusehen, wenn man bedenkt, dass die Gesammtheit der Durchschnittslinien aller Paare identischer Längsebenen sowohl als Querebenen unter den erwähnten Umständen je eine Fläche bilden muss und dass diese beiden Flächen sich schneiden müssen. Schneiden nehmlich müssen sie sich, weil sie beide durch den fixirten Punkt gehen und hier die, der einen Fläche angehörige Durchschnittslinie der mittlen Längsebenen sich schneidet mit der, zur andern Fläche gehörigen Durchschnittslinie der mittlen Querebenen. Hierdurch ist eine blosse Berührung der beiden Flächen ausgeschlossen und die Durchschneidung beider gefordert, die natürlich nur in einer irgendwie gestalteten Linie stattfinden kann. Soviel zum allgemeinen Beweise dafür, dass der Horopter überhaupt nie ein blosser Punkt sein kann.

Meissner hat dagegen behauptet, dass bei unsymmetrischen Convergenzstellungen nur der fixirte Punkt auf identischen Stellen abgebildet werden könne. Da dieser irrige Satz durch die besten Lehrbücher grosse Verbreitung gefunden hat, so möge er noch eine specielle Widerlegung erfahren.

Es ist schon oben erörtert worden, dass die Gestalt der Netzhaut für die Horopterfrage zunächst gleichgültig ist, nachdem bewiesen ist, dass diejenigen Lichtrichtungen zu Deckstellen führen, welche in beiden Augen Winkel von gleicher Grösse und Lage mit der Blickrichtung einschliessen. Wir können also statt der wirklichen Netzhaut eine im Punkte des directen Sehens errichtete Tangentialebene der Netzhaut einführen. Jede durch den Mittelpunkt dieser Ebene gelegte Gerade entspricht einem Meridiane, jeder um diesen Mittelpunkt gelegte Kreis einem Parallelkreise der Netzhaut und der Unterschied ist nur der, dass der Kreis auf der Ebene grösser ist als der Kreis auf der Netzhaut, dem er entspricht. Die Netzhaut ist also mittelst der Lichtrichtungen auf jene Tangentialebene projicirt zu denken.

Wenn die Lichtrichtungen zweier Deckstellen sich im Aussenraum schneiden sollen, so müssen beide in einer Ebene liegen, welche zugleich durch die beiden Lichtrichtungsknoten geht. Legen wir also umgekehrt durch letztere beiden Punkte eine unter beliebigem Winkel zur Blickebene geneigte Ebene, und schneidet dieselbe auf beiden Tangentialebenen identische Meridiane in identischen Parallelkreisen, kurzum in identischen Punkten, so ist der Beweis geliefert, dass letztere beide Punkte von einem und demselben Aussenpunkte das Bild empfangen können, dass also dieser Aussenpunkt im Horopter liegt.

Es seien in Fig. 71 k und k' die Lichtrichtungsknoten; durch beide geht die verlängerte Grundlinie AA'; G und G' seien die beiden Punkte des directen Sehens. $G\,k$ und $G'\,k'$ also Theile der Blickrichtungen, die

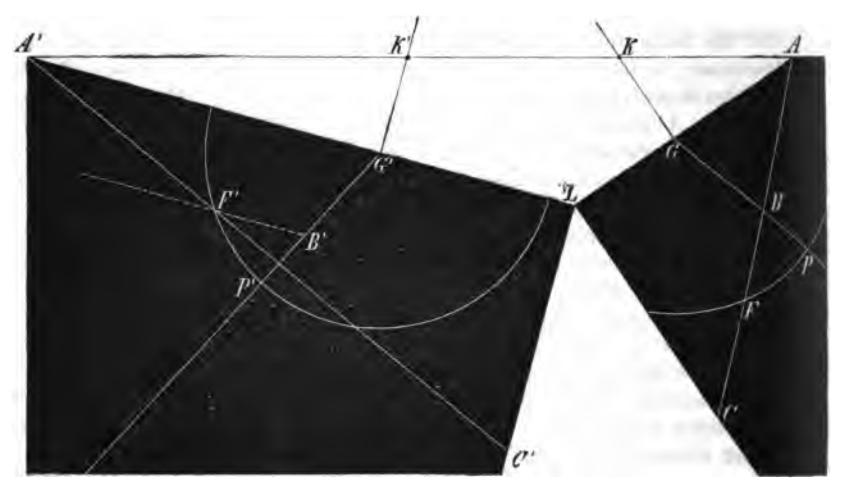


Fig. 71.

Ebene $AA'L$ ein Theil der Blickebene. Beide Augen stehen, wie erwähnt, in unsymmetrischer Convergenz; daher bildet AL, d. i. der Durchschnitt zwischen Blickebene und rechter Netzhauttangentialebene einen andern Winkel mit der Grundlinie als $A'L$, d. i. der Durchschnitt zwischen Blickebene und linker Tangentialebene. Um diese Durchschnittslinie denke ich mir jederseits die oberhalb (oder unterhalb) gelegne Hälfte der entsprechenden Tangentialebene auf die Papierebene umgelegt; die schwarzen Theile der letzteren bedeuten also diese Hälften der Tangentialebenen. LC und LC' bedeutet eine und dieselbe zur Blickebene senkrechte Linie und zwar die Durchschnittslinie der beiden Tangentialebenen. Mache ich $LC{=}LC'$ so ist also C und C' ein und derselbe Punkt dieser Durchschnittslinie. Lege ich durch diesen Punkt in die beiden Lichtrichtungsknoten oder, was dasselbe heisst, durch die Grundlinie AA' eine Ebene, so schneidet dieselbe die Tangentialebenen in den Linien AC und $A'C'$, wie sich darum von selbst versteht, weil die Tangentialebenen die Grundlinie in A und A' durchschneiden. Es sei nun GP der unter einem beliebigen Winkel (x) zur Blickebene geneigte mittle Längschnitt der rechten Tangentialebene, $G'P'$ sei der unter einem beliebigen andern Winkel (x') zur Blickebene geneigte mittle Längsschnitt der linken Tangentialebene. GP wird von der gewählten Ebene in B durchschnitten; ich nehme GB in den Zirkel und trage es von G' aus auf $G'P'$ ab, mache also $G'B'{=}GB$. Durch B' lege ich eine Gerade, welche $G'P'$ unter demselben Winkel durchschneidet, unter welchem GP von AC durchschnitten wird. Diese neue Gerade durchschneidet die Linie $A'C'$ in F'. Nehme ich nun die Distanz $F'G'$ in den

Zirkel und schlage um G' und G auf den Tangentialebenen Kreise, so sind dies diejenigen identischen Parallelkreise der Tangentialebenen, welche von der gewählten Ebene in identischen Punkten durchschnitten werden; denn AC und $A'C'$ sind die Durchschnittslinien jener Ebene und der Tangentialebenen, F und F' liegen also sowohl in jener Ebene, als auf identischen Parallelkreisen und zwar liegen sie beide vom entsprechenden mittlen Längsschnitte unter gleich grossem Bogen nach links, denn $\angle PBF = \angle P'B'F'$, $PB = P'B'$, also auch $PF = P'F'$; F und F' gehören also zugleich identischen Meridianen an, sind identische Punkte.

Da man den Punkt C (d. i. zugleich C') in beliebigem Abstande von L wählen, d. h. also eine Ebene von beliebiger Neigung zur Blickebene wählen kann, und die Construction bei beliebiger z. B. bei einer der oben gewählten entgegengesetzten Neigung der mittlen Längsschnitte gemacht werden kann, da überhaupt die ganze Methode *mutatis mutandis* für alle hier möglichen Fälle anwendbar ist, so folgt daraus, dass jede durch die Grundlinie gelegte und die Netzhäute schneidende Ebene zwei identische Netzhautpunkte enthält, dass die Lichtrichtungen der letzteren sich also schneiden können, und dass der Aussenpunkt, in welchem dies geschieht, dem Horopter angehört, dass also der letztere kein blosser Punkt, sondern eine irgendwie gestaltete Linie ist. Man kann sich nach der gegebenen Methode die identischen Punkte, welche zu dieser Horopterlinie gehören, auf der erwähnten Tangentialebene aufsuchen, indem man zuerst den Punkt C (C') ganz nahe zu L setzt, d. h. die Ebene zunächst einen sehr kleinen Winkel mit der Blickebene einschliessen lässt, und dann allmählich C auf der Linie LC (LC') hinausrückt, so weit das Papier reicht. Man erhält dann auf beiden Tengentialebenen identische Curven, wodurch also eine Horopter curve gesetzt ist, auf deren Entwicklung ich hier nicht näher eingehe.

Der empirische Horopter.

§. 83.

Nachdem die Lage der Deckstellen festgestellt und der Horopter darnach berechnet ist, kann die empirische Aufsuchung des Horopters gleichsam als Probe für die Richtigkeit der Rechnung sowohl als der Grundlagen der Rechnung vorgenommen werden. Bei allen dahin zielenden Versuchen darf man jedoch nie ausser Acht lassen, dass man durch dieselben nur ein dem berechneten Horopter nahekommendes, nicht ein ihn exact deckendes Ergebniss erlangen kann. Der mathematische Horopter ist, wie ich schon in §. 43. auseinandersetzte, gleichsam nur das Gerippe des wirklichen, und es wird ganz von der Feinheit der Versuchsobjecte, der Zweckmässigkeit der Methode und der Uebung im indirecten Sehen abhängen, ob der empirische Horopter dem mathematischen mehr oder weniger nahe kommt.

Man hat vielfach den Vorwurf ausgesprochen und besonders MEISSNER hat ihn betont, dass sich die Physiologen mit einer geometrischen Construction des Horopters begnügt hätten, ohne denselben durch Versuche mit »objectiven Gesichtserscheinungen« zu bekräftigen. Dieser Vorwurf, den schon JOH. MÜLLER nicht ganz verdient, ist A. PRÉVOST gegenüber ungerechtfertigt. Derselbe hat schon im Jahre 1843 die Bestätigung des von ihm richtig berechneten Horopters mittelst der Doppelbildversuche gegeben. Ist es nun gleich wahr, dass Doppelbilder verschmelzen können, auch wenn sie nicht exact identisch liegen, so hat dies doch seine engen Grenzen und der von PRÉVOST aus solchen objectiven Gesichtserscheinungen gelieferte Beweis einer horizontalen kreisförmigen und einer vertikalen geraden Horopterlinie der convergenten Secundärstellungen wird dadurch im Wesentlichen nicht beeinträchtigt. Denn es liegt in der Hand des

Experimentators, die Methode PRÉVOST's entsprechend zu verfeinern, d. h. die Nadeln, deren er sich bediente, möglichst fein und einen günstig abstechenden Hintergrund für dieselben zu wählen, sowie sich in der Unterscheidung von Doppelbildern hinreichend zu üben: dann aber hat es keine Schwierigkeit, sich von der Richtigkeit der PRÉVOST'schen Angaben zu überzeugen. Durch die Versuche MEISSNER's hat es sich allerdings herausgestellt, dass die queren Mittelschnitte nicht, wie PRÉVOST meinte, immer in der Blickebene bleiben, sondern bei den meisten Convergenzstellungen zur Blickebene geneigt sind, dass also von einem sogenannten horizontalen Horopter streng genommen nur bei Secundärstellungen die Rede sein kann; allein praktisch genommen kommt dies nicht sonderlich in Betracht, und für die Secundärstellungen behalten PRÉVOST's Beobachtungen nach wie vor ihren Werth.

§. 84.

Der empirische Horopter der geraden Fernstellungen mit gleichliegenden Mittelschnitten (der Primärstellung und der parallelen Secundärstellungen MEISSNER's) ist der gesammte über eine gewisse Entfernung hinausgelegne Raum. Diese Entfernung würde zu finden sein, wenn man bei parallel geradausgestellten Blickrichtungen einen leuchtenden Punkt in der Medianlinie allmählich vom Gesicht entfernte, bis seine Doppelbilder verschmelzen. Dies bedarf keiner weiteren Erörterung.

§. 85.

Der empirische Horopter der geraden Nahstellungen mit gleichgelegnen Mittelschnitten (convergenten Secundärstellungen) kommt, wie erwähnt, dem berechneten sehr nahe, was ich auf Grund vielfacher Versuche behaupten darf. Diesem schon durch PRÉVOST theoretisch und empirisch gesicherten Ergebnisse gegenüber ist MEISSNER (Beiträge zur Physiol. des Sehorgans 1854) mit der Behauptung aufgetreten, der Horopter sei bei den erwähnten Stellungen eine zur Medianlinie senkrechte Ebene und sein »horizon-

taler« Durchschnitt demnach eine gerade Linie, welche durch den fixirten Punkt parallel der Grundlinie geht. Diese Behauptung widerspricht also nicht bloss der Theorie sondern auch den Thatsachen, ist aber gleichwohl als angeblich richtig in die Lehrbücher übergegangen und erfordert deshalb eine eingehende Widerlegung. Ich berücksichtige hierbei zunächst den in der Blickebene gelegnen Theil des Horopters.

Man mache zuerst PRÉVOST's Versuch, bringe also eine feine Nadel, welche vertikal durch die Blickebene und MEISSNER's horizontale Horopterlinie geht, seitlich vom fixirten Punkte bei convergenter Secundärstellung an. Es hat dann, falls man einen abstechenden Hintergrund gewählt hat, keine Schwierigkeit, sich zu überzeugen, dass die Nadel bei irgend erheblichem Abstande vom fest fixirten Punkte doppelt erscheint, vorausgesetzt dass nicht etwa der blinde Fleck des einen Auges störend wird.

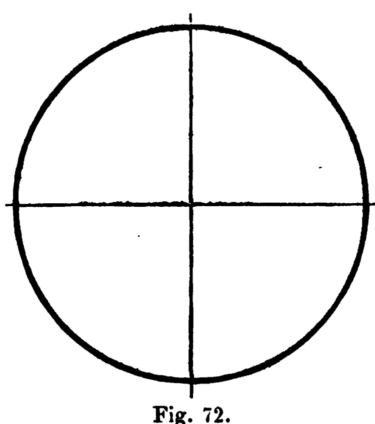


Fig. 72.

Man fixire ferner bei stark convergenter Secundärstellung den Mittelpunkt eines Kreises (Fig. 72), dessen Ebene auf der Medianlinie senkrecht steht, und man wird den Kreis doppelt sehen in Gestalt zweier einem Kreise nahekommenden Curven, die sich senkrecht über und unter dem Fixationspunkte, d. i. also in der vertikalen Horopterlinie durchschneiden. Die Punkte des beobachteten Kreises, welche auf dem Horizontaldurchschnitte des MEISSNER'schen Horopters liegen, haben dabei die distantesten Doppelbilder. Nebenbei widerlegt der Versuch auch MEISSNER's Behauptung, dass der Horopter der Secundärstellungen eine auf der Medianlinie senkrechte Ebene sei, denn in solcher liegt ja der doppelt erscheinende Kreis. Damit man besser controliren könne, ob man die Secundärstellung einhält, habe ich ein rechtwinkliges Kreuz in den Kreis eingezeichnet.

Nach dieser experimentellen Widerlegung will ich noch das untersuchen, was MEISSNER zur Stütze für seine Angaben über den horizontalen Horopter vorbringt.

Zuerst beschreibt er zwei Versuche BAUM's die ich in §§. 47. u. 50.

besprochen habe. Ich glaube dort hinreichend gezeigt zu haben, wodurch Baum und Meissner sich haben täuschen lassen. Ferner sagt Meissner (l. c. p. 59):

»Man nehme eine gerade Linie und markire auf derselben drei Punkte etwa in der Entfernung von 2 Cm. von einander. Die Linie wird horizontal und parallel der Grundlinie nahe vor die Augen gehalten, und der mittelste der drei Punkte fixirt; man wird dann die übereinanderliegenden Doppelbilder der beiden seitlichen Punkte wahrnehmen. Um nun mit Sicherheit sich davon zu überzeugen, dass bei der genannten Lage der Linie die Doppelbilder wirklich möglichst senkrecht übereinander erscheinen, gebe man dem Papier, worauf die Linie gezeichnet ist, eine allmählich wachsende Krümmung, so dass entweder die beiden seitlich vom fixirten gelegnen Punkte den Augen genähert oder von ihnen entfernt werden, während der fixirte Punkt die anfängliche Entfernung behält. Man wird bemerken, dass die Doppelbilder der beiden seitlichen Punkte sowohl bei der einen Bewegung als bei der andern in transversaler Richtung auseinander weichen, ein Zeichen, dass nun die zusammengehörigen Retinabilder nicht mehr gleichweit von den Mittelpunkten der Netzhäute entfernt liegen. Schon sehr geringe Abweichungen von der geraden Richtung der die Punkte verbindenden Linie bringt eine Verschiebung der Doppelbilder in transversaler Richtung hervor, welche nicht stattfindet, wenn die Linie parallel der Grundlinie verläuft.«

Die Beobachtung lehrt jedoch etwas ganz andres. Liegen die drei Punkte in der Geraden, so erscheinen die Doppelbilder der seitlichen Punkte bei Tertiärstellung schräg übereinander und zwar unter passenden Umständen sehr auffällig, wie dies denn auch wegen der in beiden Augen entgegengesetzten perspectivischen Verkürzung nicht anders zu erwarten ist. »Senkrecht« übereinander erscheinen die Doppelbilder nur dann, wenn die drei Punkte in einer durch den Fixationspunkt und die beiden Lichtrichtungsknoten gelegten Kreislinie liegen. Auf die Folgerungen, die Meissner aus diesem Versuche für den Horopter der Secundärstellungen zieht, brauche ich demnach nicht weiter einzugehen.

Endlich führt Meissner zum Beweise an, dass eine durch den fixirten Punkt parallel zur Grundlinie gelegte Linie bei convergenter Secundärstellung einfach erscheint, während sie bei Tertiärstellung sich durchschneidende Doppelbilder giebt. Dies beweist aber nur, dass die Linie sich ersternfalls auf identischen Netzhautschnitten d. i. auf den queren Mittelschnitten abbildet, und dies thut überhaupt jede in der Blickebene der Secundärstellungen gelegne Linie, sogar die

Medianlinie; wenn letztere hinreichend fein und passend beleuchtet ist, so kann man sogar auch sie einfach sehen; meist erscheint sie freilich in kreuzweise hintereinander liegenden Doppelbildern (vgl. §. 13). Solches Einfachsehen kommt aber darum gar nicht in Betracht, weil sich alle Doppelbilder dieser Linien ausser im fixirten Punkte mit solchen Punkten decken, die nicht einem und demselben Punkte der wirklichen Linie entsprechen. Letzteres ist nur dann der Fall, wenn die Linie dem Horopterkreise entsprechend gekrümmt ist.

Soviel über MEISSNER's Experimente. Es bleibt mir übrig die von MEISSNER adoptirte Ansicht BAUM's zu kritisiren, nach welcher eine angebliche Form des horizontalen Netzhautschnittes die Ursache sein soll, dass der horizontale Horopter keine Kreislinie, sondern eine Gerade sei; dagegen ist Folgendes zu sagen.

Erstens ist es für die Gestalt des Horopters ganz gleichgültig, wie die Netzhaut gestaltet ist, sofern nur Lichtrichtungen, die in beiden Augen gleich grosse und gleichgelegne Winkel mit der Blickrichtung einschliessen, unter allen Umständen zu Deckstellen führen. Die Deckstellen könnten auf ihren Lichtrichtungen in beiden Augen verschieden weit vor- oder zurückrücken: es würde dies zwar das Deutlichsehn, keineswegs aber das Einfachsehen stören können. Die Netzhaut könnte sogar beliebig gefaltet sein, ohne dass darum der Horopter ein andrer werden müsste, vorausgesetzt, dass gleichgelegne Lichtrichtungen stets zu Deckstellen gehören, wie oben bewiesen wurde. Wenn freilich die Netzhaut sich pathologisch so verschiebt, dass letzteres Gesetz nicht mehr gilt, so wird allerdings auch der Horopter ein andrer werden müssen. Normalerweise aber gilt es, und würde also MEISSNER's Hypothese auch dann als irrig erweisen, wenn dieselbe auf Thatsachen basirte, was erwiesenermassen nicht der Fall ist.

Zweitens würde, wenn man einmal auf MEISSNER's Ansichten eingehen und die Horoptergestalt lediglich aus der Netzhautgestalt ableiten wollte, es sich von selbst verstehen, dass dann, wie schon CLAPARÈDE (Beiträge z. Kenntn. d. Horopters, in REICHERT und DU BOIS' Archiv 1859. S. 387) hervorhob*), die Netzhäute Ebenen sein

*) Dieses theoretische Bedenken gegen die MEISSNER'schen Angaben ist aber auch der einzige wesentliche Punkt, in welchem man CLAPARÈDE bei seiner sehr heftigen Polemik gegen MEISSNER beipflichten darf. Wenn ich auch gern zugestehn will, wie ich dies schon in §. 22. gethan habe, dass die Neigung der Mittel-

müssten, die unter allen Umständen der Grundlinie parallel lägen. Denn die Elemente der Geometrie lehren, dass eine im MEISSNER'schen horizontalen Horopter gelegne gerade Linie von wechselnder Länge, AB Fig. 73, welche durch die Lichtrichtungsknoten k und k' auf zwei durch die Netzhautmittelpunkte a und a' gelegte Linien projicirt wird, auf beiden Linien nur dann immer gleichlang erscheinen kann, wenn beide Linien der projicirten Linie parallel sind.

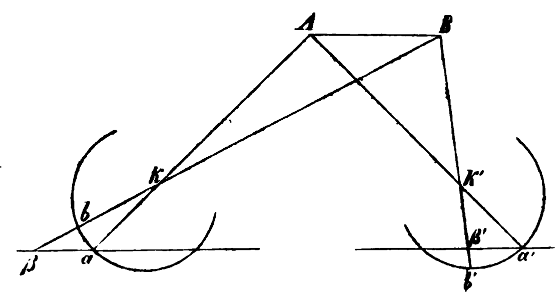


Fig. 73.

$$AB : Ak = a\beta : ak; \; AB : Ak' = a'\beta' : a'k'$$

ferner $AB = AB; \; Ak = Ak'; \; ak = a'k'$

folglich auch $a\beta = a'\beta'$.

---

schnitte vielleicht bei gewissen Individuen eine viel geringere ist, als bei MEISSNER, so wird sie doch nie ganz fehlen. Der Apparat, mit welchem CLAPARÈDE das Fehlen einer jeden Neigung der Mittelschnitte bei verschiedenen Convergenzstellungen erweisen wollte, ist noch viel unvollkommner als der Apparat MEISSNER'S, mit welchem derselbe das Gegentheil darthat. In Betreff der Doppelbilder einer in der Blickebene der Tertiärstellungen gelegnen Linie hat CLAPARÈDE die Angaben MEISSNER'S mit so wenig Sorgfalt studirt, dass er meint, MEISSNER habe die Versuchslinie in die Medianebene gebracht, während er sie doch senkrecht zur selbigen legte. CLAPARÈDE'S ganze Auseinandersetzung über diesen Punkt ist, soweit sie richtig ist, für MEISSNER sicher nichts Neues gewesen, hat jedoch mit der Sache selbst, nehmlich mit den wirklich vorhandenen, nicht bloss in der Richtung der Tiefe, sondern auch nach der Höhe kreuzweis verschobenen Doppelbildern gar nichts zu thun. Ebensowenig hat CLAPARÈDE die Auseinandersetzungen MEISSNER'S über das Parallelerscheinen nicht paralleler Linien der Medianebene richtig verstanden, wie ich dies in §. 93. noch ausführlich besprechen werde.

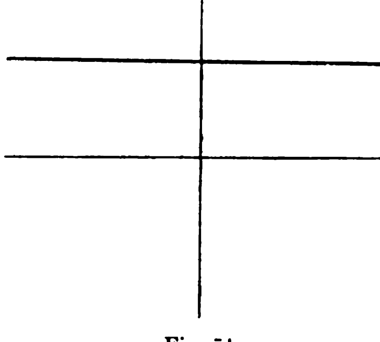
§. 86.

Der ausserhalb der Blickebene gelegne Horopter ist, wie MEISSNER mit Recht hervorhob, früher sehr vernachlässigt worden; doch macht A. PRÉVOST auch hier eine rühmliche Ausnahme. JOH. MÜLLER ging von der ganz ungerechtfertigten Voraussetzung aus, der Horopter müsse stets eine Fläche sein und glaubte aus der Gestalt des Horopters der Blickebene schliessen zu dürfen, der Horopter der Convergenzstellungen sei ein durch den Horopterkreis senkrecht zur Blickebene gelegter Cylindermantel, welchen er unpassend als »kreisförmige Ebene« (vergl. Physiol. d. Gesichtss. S. 178) oder »kreisförmige Fläche« (Handb. d. Physiol. Bd. II. S. 379) bezeichnete. Schon diese Ausdrücke zeigen, dass ihm die nöthigen mathematischen Kenntnisse für diese Frage fehlten, sonst wäre er, bei seinen Ansichten über Identität, sicher der Erste gewesen, der die Unmöglichkeit einer Horopter fläche eingesehen hätte. Leider dehnte er auch die experimentelle Prüfung des Horopters nicht genügend auf den Raum über und unter der Blickebene aus und erhielt somit keine genügende Veranlassung, die Construction des Horopters für diese Theile des Raumes genauer auszuführen. Nachdem aber A. PRÉVOST diesen Mangel ergänzt und sowohl theoretisch als experimentell nachgewiesen hatte, dass der Horopter des über und unter der Blickebene gelegnen Raumes bei symmetrischer und unsymmetrischer Convergenzstellung eine Senkrechte sei, errichtet in dem Punkte, wo die Medianlinie den Horopterkreis schneidet, war der ganze Horopter im Wesentlichen festgestellt und es bedurfte jetzt nur noch der besondern Ausarbeitung für diejenigen Fälle, die den von PRÉVOST gemachten Voraussetzungen nicht ganz entsprachen, nehmlich für die Tertiärstellungen u. s. w. Ebenso wie MÜLLER's cylinderflächige, so war auch VOLKMANN's und LUDWIG's kuglige Horopterfläche durch PRÉVOST's Arbeit widerlegt. Leider lernte MEISSNER, wie er selbst bemerkt (Jahresber. für 1858 S. 617) diese Arbeit erst kennen, als er seine Untersuchungen bereits für abgeschlossen erachtete. Nur so erklärt es sich einigermassen, dass er PRÉVOST's Ergebnisse, als »auf Täuschung beruhende« nicht weiter kritisirte. Was nach PRÉVOST's Arbeit zu thun noch übrig war, bestand in Folgendem: Erstens war

zu bedenken, dass die empirische Bestätigung des berechneten Horopters durch Doppelbildversuche selbst bei der grösstmöglichen Exactheit doch nur eine annähernde sein konnte, weil, abgesehen von der (allerdings durch Abänderung der Methode vielfach zu vermeidenden) stereoskopischen Verschmelzung different gelegner Doppelbilder, die Wahrnehmbarkeit der letzteren auf peripherischen Netzhauttheilen sehr enge Grenzen hat und ausserdem die strenge Fixation bei starken Convergenzen sehr schwierig ist. Es war also womöglich eine schärfere Methode zur Bestimmung der Lage der Deckstellen zu finden, eine Methode, die der Berechnung des Horopters eine sichrere Grundlage bot, als die MÜLLER'schen Versuche mit Druckfiguren, und also die empirische Bestätigung des Horopters gewissermassen überflüssig machte. MEISSNER gab jedoch eine neue Idee zur empirischen Bestimmung des Horopters, eine Idee, die allerdings einige Vorzüge hat, aber von MEISSNER so wenig exact verwerthet wurde, dass sie, was den Horopter der Secundärstellungen betrifft, zu einem Rückschritte, statt zu einem Fortschritte führte. Zweitens war die von PRÉVOST zwar bereits besprochene, aber irrig beantwortete Frage zu berücksichtigen, wie der Horopter sich gestalte, falls die relative Lage der Deckstellen sich ändre, und die queren Mittelschnitte sich gegen die Blickebene neigten, eine Frage, die allerdings für das Binocularsehen darum von geringer Bedeutung ist, weil beim Nahesehn die Neigungen der Gesichtsobjecte zur Blickebene meist viel erheblicher sind, als die geringe Neigung der Mittelschnitte gegeneinander, und weil wir dabei noch ausserdem unsrer Blickebene sehr häufig eine solche Neigung zur Gesichtsfläche geben, bei welcher die queren Mittelschnitte ganz oder sehr annähernd in der Blickebene liegen. In Bezug nun auf diejenigen symmetrischen Convergenzstellungen, bei welchen die Neigungen der Mittelschnitte zur Blickebene symmetrisch sind, hat MEISSNER's Arbeit einen entschiedenen Fortschritt angebahnt, der um so mehr ins Gewicht fällt, als er auch für die Lehre von den Augenbewegungen von grosser Bedeutung ist.

In Betreff der convergenten Secundärstellungen aber hat MEISSNER, wie gesagt, grosse Irrthümer vertreten. Er macht zuerst die ganz ungerechtfertigte Voraussetzung, dass die Existenz einer »vertikalen« und einer »horizontalen« Horopterlinie die Existenz einer Horopterfläche involvire, und dass letztere bei Kenntniss der ersteren hin-

reichend bestimmt sei. Dies ist schon oben genügend widerlegt worden. Die Annahme constant gelegner Deckstellen, die auch MEISSNER macht, schliesst eine Horopterfläche mit mathematischer Gewissheit aus. Wer auch noch eine experimentelle Widerlegung der MEISSNER'schen Ansichten will, für den hat sie bereits vor MEISSNER A. PRÉVOST und nach MEISSNER v. RECKLINGHAUSEN gegeben. Ersterer zeigte, dass die Köpfe von Stecknadeln, welche er senkrecht zur Blickebene auf den Horopterkreis steckte, in übereinanderliegenden Doppelbildern erschienen, wenn die Köpfe nur genügend hoch über der Blickebene lagen. Bringt man solche Nadeln entsprechend auf MEISSNER's horizontaler Horopterlinie bei Secundärstellung an, so sieht man dasselbe, nur mit dem Unterschiede, dass die Doppelbilder der Köpfe nicht gerade, sondern schräg übereinander stehen; trotzdem also, dass sie auf MEISSNER's Horopterfläche liegen. v. RECKLINGHAUSEN zeigte, dass wenn man bei Secundärstellung auf ein senkrecht zur Medianlinie gestelltes Papier durch den Fixationspunkt einen vertikalen und einen horizontalen Strich und ausserdem über oder unter dem Fixationspunkt einen zweiten horizontalen Strich (siehe Fig. 74) zieht, der letztere bei starken Convergenzgraden sehr auffallend in Doppelbildern erscheint, die sich im vertikalen, einfach erscheinenden Striche durchschneiden, während der in der Blickebene liegende Strich ebenfalls einfach erscheint. Dies beweist ganz schlagend, dass nur die Punkte einer auf der Blickebene im Fixationspunkte stehenden Senkrechten einfach erscheinen, dagegen die seitlich über oder unter der Blickebene in MEISSNER's Horopterfläche gelegnen Punkte doppelt gesehen werden. Wie MEISSNER nach dieser treffenden Widerlegung noch an seiner Horopterfläche festhalten konnte (Jahresber. f. 1859), ist mir nicht recht verständlich. Ein andrer ebenso schlagender Versuch ist der oben §. 85. beschriebene mit einer in MEISSNER's Horopterfläche gelegenen Kreislinie. MEISSNER selbst hat nie einen experimentellen Beweis für seine Horopterfläche versucht, sondern sich lediglich mit


Fig. 74.

deren Horizontal- und Vertikalschnitt beschäftigt und die Horopterfläche ohne Weiteres als selbstverständlich angesehen.

§. 87.

Dass bei Nahstellungen mit symmetrisch geneigten Mittelschnitten (Tertiärstellungen MEISSNER's) der in der Blickebene gelegne Theil des Horopters nur auf die fixirte Stelle beschränkt ist, lässt sich auch empirisch leicht, wenngleich natürlich nicht mathematisch exact bestätigen. Es versteht sich von vornherein von selbst, dass jeder seitliche Punkt der Blickebene sich im einen Auge unterhalb, im andern oberhalb des queren Mittelschnittes abbildet und also stets auf nicht identische Quadranten der Netzhaut fällt. Dieser sehr übersichtlichen Thatsache gegenüber bedarf eine Behauptung, wie die WUNDT's (Zeitschr. f. rat. Medic. III. Reihe, XII. Bd. S. 222), dass bei Tertiärstellungen ausser dem fixirten Punkte noch zwei andre symmetrisch nach rechts und links in der Blickebene und zwar auf dem durch den Fixationspunkt und die Lichtrichtungsknoten gelegten Kreise befindliche Punkte einfach erscheinen sollen, keiner weiteren Widerlegung; denn WUNDT meint nicht etwa jenes Einfachsehen, welches dadurch entsteht, dass das eine Bild auf den blinden Fleck fällt. WUNDT hat sogar Versuche zum Beweise angegeben, aber man braucht sie nur mit Exactheit zu wiederholen, um sich von der Irrigkeit dessen zu überzeugen, was WUNDT darüber sagt.

Der experimentelle Nachweis, dass bei Tertiärstellung nur ein einziger Punkt der Blickebene, d. i. der Fixationspunkt einfach gesehen werde, lässt sich am einfachsten so führen, dass man einen in der Blickebene gelegnen feinen Faden mit stark vorwärts oder rückwärts geneigtem Kopfe und starker Convergenz der Blickrichtungen in seinem Mittelpunkte fest fixirt und nun den Faden um den Fixationspunkt beliebig, doch so dreht, dass der Faden stets in der Blickebene bleibt. Fixirt man hinreichend fest, so sieht man den Faden (ausser wenn er annähernd oder genau in einer Blickrichtung liegt) bei jeder beliebigen Lage in Doppelbildern, die sich im Fixationspunkte durchschneiden, und kann also mit Ausnahme des letzteren für alle in der Blickebene liegenden Punkte den Beweis ihres Doppelterscheinens liefern.

§. 88.

Den ausserhalb der Blickebene gelegnen Horopter hat für die Tertiärstellungen, wie gesagt, Meissner bereits empirisch bestimmt und zwar im Wesentlichen richtig. Freilich ist seine Methode nicht hinreichend exact und seine Rechnung ist falsch. Aber die Fehler haben sich z. Th. compensirt und die Endergebnisse mögen deshalb wohl der Wahrheit nahe kommen, was ich natürlich nicht entscheiden kann, da die Neigung der Mittelschnitte, von denen die Neigung der Horopterlinie abhängt, bei derselben Neigung der Blickebene individuelle Verschiedenheiten zeigen kann. Da jedoch die empirische Bestimmung der Horopterlinie der Tertiärstellungen oder vielmehr der Neigung der Mittelschnitte bei diesen Stellungen für die Lehre von den Augenbewegungen eine besondre Wichtigkeit hat, so scheint es mir nöthig, die mit so viel Beifall aufgenommene Meissner'sche Methode zur Bestimmung dieser Neigung einer eingehenden Kritik zu unterwerfen, wobei ich Gelegenheit haben werde, einige Punkte von allgemeinerem Interesse zu berühren.

Ich bespreche hier zunächst den Grundgedanken der Meissner'schen Methode zur Bestimmung des Horopters der Tertiärstellungen. Wenn uns die Doppelbilder einer hinter dem fixirten Punkte in der Medianebene gelegnen Linie parallel erscheinen, so ist dies nach Meissner's Ansicht ein Beweis dafür, dass die entsprechenden Netzhautbilder auf solchen grössten Kreisen der Netzhäute liegen, welche senkrecht auf den queren Mittelschnitten stehen, dass die Netzhautbilder also, auf die Tangentialebene der Netzhaut projicirt, parallel dem Längsmittelschnitte gelegen sind. Dies ist jedoch aus zwei Gründen nicht nothwendig der Fall. Ich übergehe einen dritten Grund, welcher darin liegt, dass die Bestimmung des Parallelismus der Doppelbilder dem Augenmaasse überlassen ist; Meissner hat den daraus entspringenden Fehler durch vielfache Wiederholung der Versuche und Berechnung des Mittelwerthes zu eliminiren gesucht.

§. 89.

Den ersten Grund, aus welchem MEISSNER's Voraussetzung irrig ist, habe ich oben bei Besprechung der BURCKHARDT'schen Horopterlehre bereits erwähnt. MEISSNER glaubt »die Krümmung, welche jedes lineare Retinabild besitzt, influire durchaus nicht auf die Erscheinung des Gesichtseindruckes. Würden zwei parallele senkrechte Linien mit einem Auge betrachtet, so nähmen wir nichts von der Convergenz wahr, welche die Retinabilder als Theile zweier grösster Kreise besitzen, wir sähen sie, als ob sich die Bilder auf einer ebenen Retina projicirten.« Dagegen habe ich oben (§. 80.) auseinandergesetzt, dass zwei parallele Linien, sowohl senkrechte als sonstwie gerichtete, uns bei strengster einäugiger Fixation eines zwischen ihnen oder auf ihnen gelegenen Punktes nicht genau parallel, sondern nach oben und unten schwach convergent, oder vielmehr als zwei schwach gekrümmte Bogen erscheinen, die sich ihre Concavität einander zuwenden, und dass ebenso die Doppelbilder einer entsprechend gelegenen Geraden erscheinen. Diese Concavität ist allerdings nicht so gross, wie sie den Netzhautbildern nach zu erwarten wäre, weil wir das Vermögen besitzen, die durch Projection der Aussendinge auf die kuglige Netzhaut entstandenen perspectivischen Verzerrungen bei der Anschauung innerhalb gewisser Grenzen wieder auszugleichen, aber sie ist doch ein Rest dieser im Anschauungsbilde nicht ganz wieder zu tilgenden Verzerrung. NAGEL hat dasselbe gesehen und es (Das Sehen mit zwei Augen, 1861) durch seine Projectionsflächen zu erklären versucht. VOLKMANN aber hat mir gesagt, dass er sich diese Krümmung der Doppelbilder einer geraden Linie ebenfalls aus der Krümmung der Netzhaut erklärt habe. Sicher ist sie z. Th. so zu erklären.

Diese Verzerrung würde bei MEISSNER's Versuchen nicht in Betracht kommen, wenn er die doppelbilderzeugende Linie über und unter der Blickebene gleichlang gemacht hätte, wie ich dies in §. 17. für ähnliche Versuche angegeben habe; da er aber im Wesentlichen nur die oberhalb der Blickebene gelegene Hälfte benützte (vgl. die Abbild. seines Apparates), so führte er dadurch einen bei allen Einzelversuchen in derselben Richtung erfolgenden Fehler ein. Man erzeuge sich bei Secundärstellung das Doppelbild einer, in der Medianebene senkrecht durch die Blickebene gehenden Geraden, die dem

Fixationspunkte nahe liegt, und verdecke zunächst die untre (oder obre) Hälfte derselben. Neigt man nun die Linie soweit vor oder zurück, bis ihre Doppelbildhälften bei ganz unveränderlichem Fixationspunkte parallel erscheinen, und zieht dann die Decke von der andern Hälfte der Beobachtungslinie weg, so wird man sich überzeugen, dass die Doppelbilder nach der zuerst verdeckten Richtung hin deutlich convergiren; man wird sich nebenbei überzeugen, dass das Urtheil über den Parallelismus noch ausserdem ziemlich unsicher ist, und dass man die halbverdeckte Versuchslinie um einige Grade neigen kann, ohne doch den Eindruck des Parallelismus der Doppelbilder zu verlieren; denn die Schätzung des Parallelismus vollständig indirect gesehener Linien ist begreiflicher Weise nicht so sicher, als die mit Hülfe des directen Sehens unter begleitenden Augenbewegungen ausgeführte Schätzung. Trotz dieser Schwankungen im Urtheil ist aber gleichwohl die Convergenz der Doppelbilder nach der zuvor verdeckten Seite stets eine auffallende, liegt also noch ausserhalb der Schätzungsfehler, immer vorausgesetzt, dass man die Augen gar nicht bewegt hat. Man halte die Berücksichtigung dieses Umstandes nicht für Haarspalterei; es handelt sich bei der ganzen Untersuchung um sehr kleine Winkel, und ausserdem geht Meissner's Untersuchung so ins Einzelne und Feine, dass ein Fehler, wie der erwähnte, sämmtlichen berechneten Tabellen Meissner's ein anderes Ansehen geben muss. Meissner's Voraussetzung war also irrig; wir sehen vielmehr die Doppelbilder jener über der Blickebene gelegnen Meissner'schen Versuchslinie dann parallel, wenn sie auf Netzhautschnitten liegen, die nicht senkrecht auf der Blickebene stehen, die, auf die Tangentialebene der Netzhaut projicirt, den Längsschnitten nicht parallel sind, sondern mit ihnen nach unten divergiren.

§. 90.

Der zweite Grund, aus dem es nicht erlaubt ist, das Parallelerscheinen der Doppelbilder einer Geraden ohne Weiteres zum Kriterium dafür zu machen, dass ihre auf die Tangentialebene der Netzhaut projicirt gedachten Bilder parallel sind, soll durch folgende Versuche deutlich werden.

Zeichne ich auf eine Ebene zwei parallele Vertikalstriche und halte diese Ebene senkrecht zur Blickrichtung des einen Auges, so erscheinen die Striche bei Schluss des andren, abgesehen von der eben erwähnten leichten Krümmung, parallel; neige ich dann die Ebene mit dem obern Ende vor oder zurück, so erscheinen bis zu einer gewissen Grenze der Neigung die Striche gleichwohl parallel, trotzdem dass sie in Folge perspectivischer Verkürzung nicht mehr Netzhautbilder geben können, die auf der Tangentialebene der Netzhaut parallel sind. Folglich ist hier das Erscheinen paralleler Striche kein Beweis für den Parallelismus ihrer auf die Tangentialebene projicirt gedachten Netzhautbilder. Dies gilt vom einäugigen Sehen; sehen wir zu, wie es sich verhält, wenn das eine Netzhautbild im einen, das andre im andern Auge liegt.

Spanne ich in der Medianebene einen zur Blickebene vertikalen schwarzen Faden auf, halte hinter denselben ein ebenfalls vertikales weisses Blatt und fixire bei Secundärstellung, also z. B. bei entsprechend zurückgeneigtem Kopfe das Blatt, so erhalte ich vom Faden parallele Doppelbilder. Drehe ich hierauf das Papier mit dem obern Ende vom Gesichte weg um eine durch den Fixationspunkt gehende Horizontalaxe, so erscheinen die Doppelbilder des Fadens nach oben divergent, falls es mir gelingt, sie auf dem Blatte zur Anschauung zu bringen, was besonders dann leicht ist, wenn der Faden ausserhalb des Accommodationsraumes liegt, also verschwommen erscheint und nicht mehr als Faden zu erkennen ist. Trotzdem, dass hierbei die Doppelbilder divergent erscheinen, stehen doch beide Netzhautbilder nach wie vor senkrecht auf der Blickebene, würden also, auf die Tangentialebene der Netzhaut projicirt, den Längsmittelschnitten parallel liegen; umgekehrt kann ich auch Doppelbilder, welche auf den Tangentialebenen mit den Längsmittelschnitten divergiren, durch entsprechende Neigung des Blattes als parallel zur Anschauung bringen: Beweis, dass der Parallelismus der Doppelbilder kein Beweis ist für den »Parallelismus« der Netzhautbilder. — Erzeuge ich in einem Auge das Nachbild zweier vertikaler, also paralleler Striche, so liegen die Netzhautbilder auf grössten Kreisen, welche vertikal zum horizontalen Meridian der Netzhaut stehen. Halte ich nun demselben Auge eine mit dem obern Ende vom Gesichte weggeneigte Ebene vor, so erscheint das Nachbild auf derselben als ein nach oben divergentes

Strichpaar, neige ich die Ebene entgegengesetzt, so divergirt das Strichpaar nach unten. Erzeuge ich mir das Nachbild eines convergenten Strichpaares, so kann ich dasselbe auf einer passend geneigten Ebene als ein paralleles zur Erscheinung bringen. Ganz dasselbe ist der Fall, wenn ich, statt die Nachbilder beider Striche in ein Auge zu bringen, nur das eine im einen, das andre im andern auf den entsprechenden Deckstellen erzeuge. Nachbilder also, welche auf die Tangentialebene der Netzhaut projicirt gedacht nicht parallel liegen, kann man als parallele sehen, wenn man sie auf entsprechend geneigter Ebene zur Anschauung bringt, vorausgesetzt, dass die Neigung der Ebene selbst zur Anschauung kommt.

Alle die ebenerwähnten Erscheinungen gehören in das grosse Capitel von der Incongruenz zwischen den Netzhautbildern und den entsprechenden Anschauungsbildern. Schon in §. 52 und 53. wurde ein Beispiel dafür näher besprochen; in §. 74. sahen wir, wie ein kreisförmiges Nachbild als Ellipse gesehen werden kann; umgekehrt kann man das Nachbild einer Ellipse annähernd als Kreis sehen. Nachbilder rechter Winkel kann man als spitze oder stumpfe, Nachbilder schiefer als rechte sehen u. dergl. mehr. Alle diese Incongruenzen zwischen Netzhautbild und Anschauungsbild, die bei Nachbildversuchen nur besonders einleuchtend sind, aber beim gewöhnlichen Sehen tausendfältig vorkommen, übersteigen jedoch nie eine gewisse ziemlich enge Grenze, und schon daraus geht hervor, dass sie nicht aus der sogenannten Projection der Netzhautbilder zu erklären sind. Sie beruhen vielmehr auf unserm schon in §. 2. erwähnten Vermögen, die Einzeltheile des Gesammtnetzhautbildes innerhalb gewisser Grenzen im Sinne der Wirklichkeit ungleichmässig vergrössert zur Anschauung zu bringen, und zwar halten wir uns dabei an Wahrscheinlichkeitsgründe, wie sie die Perspective, Licht und Schatten, sowie die Erfahrung im weitesten Sinne des Wortes an die Hand geben. Diese ungleichmässige Vergrösserung der Einzeltheile eines Netzhautbildes hat aber, wie gesagt, enge Grenzen; ein allzuschräg gesehener Kreis erscheint als Ellipse, ein perspectivisch allzustark verkürztes paralleles Linienpaar erscheint convergent, ein perspectivisch allzustark verkleinerter oder vergrösserter rechter Winkel erscheint als spitzer oder stumpfer u. dergl. m.

Da nun Meissner einen zur Blickebene geneigten Papierstreifen benutzte, welcher die Beobachtungslinie trug, so liegt die Befürchtung nahe, dass die Auffassung der geneigten Lage des Papieres sammt der Linie auf die Auslegung des Doppelnetzhautbildes influirte, und dass die Doppelbilder der Beobachtungslinie also parallel gesehen wurden, wenn sie im Grunde gegeneinander geneigt waren, d. h. wenn ihre auf die Tangentialebene der Netzhaut projicirt gedachten Bilder mit dem Längsmittelschnitte der ersteren nicht parallel lagen. Auch aus diesem Grunde war also Meissner's Voraussetzung, auf die sich seine ganze Methode gründete, so ohne Weiteres nicht zulässig. Es fragte sich aber, ob im Besondern bei der Anwendung eines die Versuchslinie tragenden Papierstreifens der wirkliche Fehler vielleicht unerheblich wurde. Es war mir dies von vornherein sehr unwahrscheinlich und ist es mir noch mehr geworden, seit ich gesehen habe, dass ich schon bei Secundärstellung einen 2 cm hinter dem 20 cm entfernten Fixationspunkte senkrecht zur Blickebene gestellten Papierstreifen mit der Versuchslinie getrost um 3—4° nach vorn oder hinten neigen konnte, ehe ich eine Störung in dem scheinbaren Parallelismus der Doppelbilder wahrnahm. Wenn nun auch ein Theil des hierin begründeten Fehlers durch Meissner's grosse Uebung und durch Aufsuchung des Mittelwerthes aus vielen Einzelversuchen eliminirt wurde, so ist doch sehr wahrscheinlich ein Rest des Fehlers zurückgeblieben, der nicht zu eliminiren war, weil er immer in demselben Sinne erfolgte.

Es hat sich also gezeigt, dass der Meissner'sche Grundgedanke so ohne Weiteres d. h. ohne Berechnung der, wegen der Netzhautkrümmung etc. nöthigen Correction und ohne Voruntersuchung betreffs der mittlen Grösse eines etwaigen, durch die Neigung des Versuchsobjectes bedingten constanten Fehlers nicht anwendbar ist.

§. 91.

Ich komme zur kurzen Besprechung der Methode, nach welcher Meissner seinen Gedanken zur Ausführung brachte. Wenn man gesehen hat, dass Meissner seine Ergebnisse nicht bloss nach Graden,

sondern nach Minuten angiebt, erwartet man eine grosse Exactheit der Versuchsmethode. Dieselbe aber enthält fünf Fehlerquellen, auf welche MEISSNER z. Th. gar nicht hingewiesen hat, sodass man berechtigt ist, an ihrer Berücksichtigung zu zweifeln.

Als Ausgangspunkt der Messung diente die »ungezwungene aufrechte Kopfstellung«. Wenn man dafür sorgt, dass diese ungezwungene Kopfstellung bei jedem Versuche genau dieselbe ist, und dies wäre leicht durchzuführen, so mag sie gelten. MEISSNER hat aber dafür gar nichts gethan. Da es nun selbstverständlich auf 4—5° vorwärts oder rückwärts bei dieser »ungezwungenen« Stellung nicht ankommen kann, so sind sehr erhebliche Fehler um so mehr möglich, als, wie MEISSNER selbst sagt, es »grosse Aufmerksamkeit und Ueberwindung« kostet, »wenn die Bewegungen des Kopfes nicht ganz unwillkührlich denen der Augen zu Hülfe kommen sollen.« »Mehrmalige Wiederholung der Versuche« kann nicht viel nützen, denn der Fehler erfolgt stets in derselben Richtung, ist constant. MEISSNER hat übrigens weder die Zahl seiner Versuche noch die Einzelwerthe angegeben, sodass eine weitere Controle nicht möglich ist.

Ebensowenig hat MEISSNER dafür gesorgt, dass die Augen stets eine genau symmetrische Stellung zum Fixationspunkte hatten; denn die etwaige Fürsorge, dass der Fixationspunkt stets mitten zwischen den Doppelbildern der Versuchslinie erschien, wäre kein Schutz vor dieser zweiten Fehlerquelle.

»Die Entfernung der Augen vom fixirten Punkte, sowie die Stellung des Kopfes wurde durch einen vertikalen Schirm fixirt, welcher einen horizontal verlaufenden breiten Spalt besass, durch welchen beide Augen ohne Beeinträchtigung hindurch sehen konnten.« Dies ist keine genügende Controle, denn bei horizontal gerichteten Augen ist der Weg vom Auge zum »stets vertikalen« Schirme kürzer (weil senkrecht), als bei geneigter Blickebene (weil schräg). Ausserdem war der Apparat so eingerichtet, dass, wenn der Träger des Fixationspunktes abwärts gedreht wurde, sich der Fixationspunkt erheblich von den Augen entfernte, während er bei Aufwärtsdrehung ihnen näher kam. MEISSNER giebt nicht an, dass er auf diesen Uebelstand seines Apparates irgendwie geachtet habe. Wäre dies wirklich nicht geschehen, so könnten sich daraus Fehler von einigen Centimetern in Bezug auf den angeblichen Abstand des Fixa-

tionspunktes ergeben haben. MEISSNER's Tabelle aber berücksichtigt Abstandsunterschiede von 2, ja sogar $1\frac{1}{2}$ cm. Dies die sehr wahrscheinliche dritte Fehlerquelle.

Zur Controle dafür, dass der Lichtrichtungsknoten, der Fixationspunkt, und der Drehpunkt der Beobachtungslinie in einer Ebene lagen, diente der »breite« Spalt des erwähnten Schirmes vor den Augen. Nun aber war dieser Spalt, wie aus einer Nebenbemerkung über das Herabrücken des Kreuzungspunkts der Doppelbilder ins Gesichtsfeld hervorgeht, sehr breit und konnte also ein Hinauf- und Hinabrücken des Kopfes innerhalb einer hier sehr wesentlichen Breite, mithin ein Verkennen der wirklichen Neigung der Blickebene gar nicht verhindern. Dies die vierte Fehlerquelle. Sehr unzweckmässig war es endlich, dass MEISSNER der Versuchslinie bei starker Convergenz der Blickrichtungen einen so grossen Abstand vom Fixationspunkte gab. Dieser Mangel, z. Th. im Apparate begründet, ergiebt eine so grosse Distanz der Doppelbilder, dass es ausserordentlich schwer wird, ihren Parallelismus zu schätzen. Man versuche es, z. B. bei 8 cm Abstand des Fixationspunktes und 11 cm Abstand der Versuchslinie, und man wird sehen, dass dabei einige Grade mehr oder weniger nicht in Betracht kommen. Dies die fünfte Fehlerquelle.

Ich habe mich über MEISSNER's Methode kurz gefasst, bin aber gern zur nähern Begründung meiner Angaben bereit, um so mehr, als ich die Grösse der möglichen Fehler für die einzelnen Fehlerquellen bestimmt habe. Aber schon das Gesagte wird hinreichen, um zu sehen, d a s s d i e M a n g e l h a f t i g k e i t d e r M e t h o d e w o h l e i n i g e a l l g e m e i n e, n i c h t a b e r s o d e t a i l l i r t e E r g e b n i s s e, w i e s i e MEISSNER g e g e b e n h a t, z u g e w i n n e n e r l a u b t.

§. 92.

Unrichtig ist in MEISSNER's Arbeit auch die Entwicklung der Formel, nach welcher er sein Beobachtungsmaterial verwerthet und in Tabellen umgesetzt hat. Es hat jedoch ein glücklicher Zufall gewollt, dass die Formel nicht so sehr falsch geworden ist, wie sie hätte werden können, wenn sich nicht die Fehler zufällig compensirt hätten. Ich will eine kurze Uebersicht der Rechnungsfehler geben.

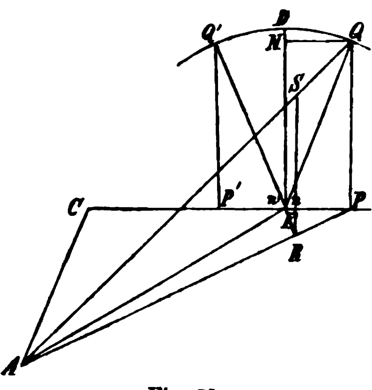


Fig. 75.

In Fig. 75 ist A der Lichtrichtungsknoten, C der Mittelpunkt der Grundlinie, F der Fixationspunkt, CP also die Medianlinie, FD eine in F senkrecht stehende Beobachtungslinie, FQ und FQ' dieselbe Linie nach einer innerhalb der Medianebene ausgeführten Neigung, n und n' sind die gleichen Winkel dieser Neigung. Die Netzhaut nimmt MEISSNER als eine am hintern Ende der Augenaxe vertikal zur letzteren stehende Ebene und denkt sich die Netzhautbilder mittels der Richtungslinien auf diese Tangentialebene projicirt. Er sagt nun:

»Wird FN gleich PQ gemacht, so würde sich das Retinabild der Linie FN zu dem der ganzen Linie FD verhalten $=\frac{\sin n}{1}$, oder $\sin n$ würde der Ausdruck für das Retinabild von FN sein.«

Es versteht sich von selbst, dass letzteres nur der Fall sein kann, wenn das Netzhautbild von FD gleich 1 gesetzt wird.

»Wird $AR = AF$ gemacht, und dann RS parallel zu PQ, d. h. senkrecht zur Visirebene gezogen, so ergiebt das Verhältniss von RS zu PQ den in Frage stehenden Unterschied zwischen den Winkelgrössen der Bilder von FN und PQ.«

Erstens kommt es hier nicht auf »Winkelgrössen«, sondern auf die sinus jener Winkel an, denn die Netzhautbilder sind angenommenermaassen nicht Bogen sondern grade Linien, zweitens kommt es nicht auf den »Unterschied« der sinus, sondern auf ihr Verhältniss an, und das hat MEISSNER wohl eigentlich sagen wollen, denn sonst wäre seine Bemerkung allzufalsch; drittens könnte das Verhältniss $\frac{RS}{PQ}$ nur dann zugleich das Verhältniss der entsprechenden Netzhautbilder sein, wenn die Netzhaut ein senkrecht auf der Blickebene stehender Cylindermantel wäre, dessen Axe durch A ginge. MEISSNER hat aber selbst für die Rechnung die Netzhaut als Ebene angenommen, was ganz zweckmässig, aber nun auch beizubehalten ist.

»Es ist $\frac{RS}{PQ}=\frac{AR}{AP}$. Für diesen Ausdruck kann ohne erheblichen Fehler, wenn die Entfernung der Objecte vom Auge nicht sehr gering ist, gesetzt werden: $\frac{RS}{PQ}=\frac{CF}{CP}$«.

Die Einführung dieses Fehlers in die Formel ist zum Mindesten unzweckmässig.

»Der Ausdruck für das Retinabild bc der Linie PQ ist also

$$bc = \sin n \frac{CF}{CP} \text{ (1.)«.}$$

Diese Formel wäre also nur richtig, wenn das Netzhautbild von $FD=1$, die Netzhaut ein Cylindermantel und $\frac{AR}{AP}=\frac{CF}{CP}$ wäre. — Fig. 76 ist die Fig. 75 von unten gesehn.

Fig. 76.

Das Bild einer Linie PF ist gleich dem Bilde einer Linie EF, welche parallel zu AC gezogen ist. Es ist nun $\frac{EF}{PF}=\frac{AC}{CP}$ oder $\frac{EF}{\cos n}=\frac{AC}{CP}$«.

PF ist nicht $=\cos n$. Dies wäre nur möglich, wenn man FQ oder $FD=1$ setzen wollte, was jedoch nicht mehr anginge, weil in derselben Rechnung schon das Netzhautbild von $FD=1$ gesetzt ist. Meissner fährt unmittelbar fort:

»daher ist der Ausdruck für das Retinabild ab der Linie FP:

$$ab = \cos n \frac{AC}{CP} \text{ (2)«.}$$

Also setzt er abermals zwei ganz verschiedne Werthe, nehmlich EF und sein Netzhautbild ab einander gleich. Aus Formel 1 und 2 erhält er nun die Formel $\frac{ab}{bc}=\cot x=\cot n \frac{AC}{CF}$; ab und bc sind nehmlich auf der Netzhaut die Katheten des Netzhautbildes vom Dreieck FPQ, und Winkel x ist das Netzhautbild des Winkels n. Ich habe oben §. 81. gezeigt, wie sich die richtige Formel für das Verhältniss dieser beiden Winkel leicht finden lässt; ich erhielt dort $\tan n = \tan x \sin\varphi$, also $\cot x = \cot n \sin\varphi$. Da ich φ den halben Convergenzwinkel der Blickrichtungen nannte, also den Winkel $AFC=\varphi$ ist, so ist $\frac{AC}{CF}=\tan\varphi$, nach Meissner's Formel demgemäss $\cot x = \cot n \tan\varphi$. Da bei kleinen Winkeln die Tangente dem Sinus nahe kommt, so sieht man, dass sich trotz der Fehler noch ein leidliches Ergebniss herausgestellt hat; richtig könnte Meissner's Formel aber nur dann sein, wenn $\sin\varphi=\tan\varphi$ d. h. $\varphi=0$ wäre, was nicht in Betracht kommen kann.

In gleichfalscher Weise entwickelt nun Meissner auch die Formel für Winkel n' (Fig. 75), was überflüssig ist, weil es sich von selbst versteht, dass die Formel dieselbe sein muss; denn läge Winkel n, statt über, entsprechend unter der Blickebene, so würde für ihn dieselbe Formel gelten, und dann wäre Winkel n' sein Scheitelwinkel, also auch für diesen die Formel gültig. Meissner fährt fort:

»Es bedarf nicht der Erwähnung, dass der Ausdruck $\cot x = \cot n \frac{AC}{CF}$ auch dann unmittelbare Anwendung findet, wenn nicht, wie oben, der Scheitelpunkt des Winkels fixirt wird, sondern dieser sich in der mittlen Vertikalebene (Medianebene) vor oder hinter dem fixirten Punkte befindet.«

Dies bedarf aber sehr wohl der Erwähnung, denn für diese Fälle würde die Formel auch wenn sie sonst richtig wäre, keineswegs passen. Sie ist unter der Voraussetzung entwickelt, dass die angenommene Netzhautebene senkrecht steht auf der Linie, welche den Lichtrichtungsknoten A mit dem Fusspunkt F der geneigten Linie FQ verbindet; dies ist aber nur möglich, wenn dieser Fusspunkt selbst fixirt wird. Wird ein andrer Punkt fixirt, so ändert sich die Neigung der Netzhautebene zur Medianebene, mithin wird auch der auf die Netzhaut projicirte Winkel ein andrer. Meissner übersieht also diesen neuen, sechsten Rechnungsfehler und kommt so zur Schlussformel. Er nimmt FQ als Horopterlinie einer Tertiärstellung, und nennt nun ihren Neigungswinkel zur Blickebene m, welcher, auf die Netzhaut projicirt, als Winkel x erscheint. In P z. B. wird eine zweite indirect gesehene Linie aufgestellt und so geneigt, dass sie parallele Doppelbilder giebt; ihr Neigungswinkel heisst n, und es sind die entsprechenden Netzhautbilder nach Meissner's, oben als irrig erwiesener Meinung ebenfalls unter dem Winkel x zum Horizontalschnitt der Netzhaut geneigt. So erhält er die zwei Formeln $\cot x = \cot n \frac{AC}{CP}$ und $\cot x = \cot m \frac{AC}{CF}$ und aus beiden die Schlussformel $\frac{\cot n}{\cot m} = \frac{CP}{CF}$, in welcher n experimentell bestimmt, und also m die einzige Unbekannte ist.

Diese Schlussformel ist also unter Mitwirkung von sechs Rechnungsfehlern entwickelt worden; auf ihr fussen sämmtliche Rechnungen und Tabellen Meissner's. Der Zufall hat es gewollt, dass die Formel nicht so sehr falsch geworden ist, wie sie unter den besprochenen Umständen hätte werden

müssen, wenn sich nicht die Fehler grösstentheils compensirt hätten. **Wenn also die Formel für gewisse Fälle der Wahrheit ziemlich nahe kommt, so ist dies Ergebniss nicht durch die Rechnung, sondern trotz der Rechnung möglich geworden.**

§. 93.

Ich will hier noch in der Kürze einen Punkt der Abhandlung MEISSNER's berühren, um dessentwillen er sehr heftig von CLAPARÈDE (REICHERT und DU BOIS' Arch. 1859 S. 384), jedoch mit Unrecht angegriffen worden ist. In Abschnitt 15. erörtert nehmlich MEISSNER die Thatsache, dass zwei in der Medianebene gelegne und zur Blickebene geneigte Parallelen sich auf der Tangentialebene der Netzhaut nicht wieder parallel abbilden können, dass also auch umgekehrt zwei auf der Tangentialebene parallel zur Blickebene geneigte lineare Netzhautbilder nicht zu parallelen Linien der Medianebene gehören können. Es handelt sich also lediglich um eine Perspectivfrage. MEISSNER hat vollkommen Recht, wenn er behauptet, von zwei in der Medianebene gelegnen und zur Blickebene geneigten Linien müsse die fernere unter kleinerem Winkel zur Blickebene geneigt sein, als die nähere, wenn beide sich auf der Tangentialebene der Netzhaut parallel abbilden sollen. Die Formel, welche MEISSNER für das Verhältniss der beiden Neigungswinkel entwickelte, ist allerdings ganz falsch, CLAPARÈDE aber greift nicht diese, sondern die Thatsache überhaupt an und nennt sie eine Ungereimtheit. Nicht ohne Scharfsinn sucht er MEISSNER in folgender Weise *ad absurdum* zu führen:

»Wenn die MEISSNER'sche Behauptung begründet wäre, so würde nothwendig daraus folgen, dass eine zwischen dem Gesichte und dem fixirten Punkte in der mittleren Vertikalebene (Medianebene) der Horopterlinie genau parallel gehaltene Linie in convergirenden Doppelbildern erscheinen d. h. zu zwei Doppelbildern Veranlassung geben müsste, die einen gemeinschaftlichen Punkt besitzen. Dieser Punkt würde also, obgleich dem Horopter nicht angehörig, dennoch einfach gesehen werden. Damit ist es aber noch nicht genug: nach der MEISSNER'schen Lehre ist eine in der mittlern Vertikalebene so gehaltne Linie, dass deren Doppelbilder genau parallel erscheinen, der s. g. Horopterlinie nicht parallel, woraus natürlicherweise folgt, dass diese Linie oder deren Ver-

längerung die Horopterlinie irgendwo durchschneiden muss, denn beide Linien sind in derselben Vertikalebene enthalten. Nun aber kann dieser Durchschnittspunkt, obgleich dem MEISSNER'schen Horopter angehörig, unmöglich einfach erscheinen, da dessen Bild sowohl dem einen, wie dem andern Doppelbild der beobachteten Linie angehören muss, und wir wissen, dass diese parallelen Doppelbilder keinen einzigen gemeinschaftlichen Punkt besitzen. Wenn daher MEISSNER's Formeln und Horopterlehre richtig wären, so würde der Horopter einen doppelt gesehenen Punkt enthalten, ja sogar würde dieser Horopter — da man bei allmähliger Verrückung der Linie sowohl vor wie hinter dem fixirten Punkte, einen jeden Punkt der Horopterlinie zum Durchschnittspunkt durch die zum Versuch dienende Linie machen kann — aus lauter doppelt gesehenen Punkten bestehen, was offenbar ein Unsinn ist.«

Betrachten wir zuerst den Fall, in welchem eine in der Medianebene der Horopterlinie parallele Linie nach oben oder unten convergirende Doppelbilder giebt. CLAPARÈDE folgert richtig, dass sich dann die Doppelbilder oder ihre Verlängerungen mit entsprechenden Punkten durchschneiden müssen, dass also ein Punkt der indirect gesehenen Linie einfach gesehen werde, obwohl die ganze Linie ausserhalb des Horopters liegt. Dieses Paradoxon löst sich sehr einfach, wenn man berechnet, auf welche Deckstellen das Bild des einfach erscheinenden Punktes jener ausserhalb des Horopters befindlichen Linie zu liegen kommt. Man sieht dann, dass dies unter allen Umständen d. h. bei beliebigem Abstande der Linie vor oder hinter dem Fixationspunkte, diejenigen Deckstellen sind, deren Lichtrichtungen der Horopterlinie parallel gehen und also letztere so zu sagen erst in unendlicher Ferne schneiden, woselbst aber auch natürlich die dem Horopter parallele Linie den letzteren so zu sagen schneidet, d. h. in den Horopter selbst zu liegen kommt und daher einfach erscheinen muss.

CLAPARÈDE meint ferner, wenn es möglich wäre, dass eine in der Medianebene gelegene, unter bestimmtem Winkel zur Blickebene geneigte, dem Horopter nicht parallele Linie in »parallelen« Doppelbildern erschiene, so müsste der Horopter einen doppelt gesehenen Punkt enthalten, da ja doch die Linie den Horopter irgendwo durchschneiden müsse. Dieser Widerspruch löst sich ebenfalls. Berechnet man den Punkt, in welchem die zur Blickebene geneigte Gerade die ebenfalls geneigte Horopterlinie durchschneidet, so findet man, dass die Lichtrichtung dieses Punktes unter allen Umständen, d. h. bei beliebigem Abstande der Geraden vor oder hinter dem Fixationspunkte,

der Tangentialebene der Netzhaut und insbesondere der »vertikalen Trennungslinie« der letzteren parallel geht, dass sie also die wirkliche kugelflächige Netzhaut am einen Endpunkte des Längsmittelschnittes d. i. im Pole der sämmtlichen Längsschnitte schneidet. Dieser Netzhautpunkt gehört demnach nicht bloss zwei sondern allen Längsschnitten zugleich an, und müsste ebenso gut hundertfältig gesehen werden können, wenn es wahr wäre, dass lineare, auf den Längsschnitten gelegne Netzhautbilder streng parallel erschienen. Dies ist aber, wie oben besprochen wurde, nicht genau der Fall, und Netzhautbilder, welche, auf die Tangentialebene projicirt gedacht, parallel sind, erscheinen nach oben und unten schwach convergent, würden also endlich sich schneiden, wenn man sie soweit indirect sehen könnte; dasselbe würde also auch streng genommen mit den Doppelbildern jener Linie geschehen, welche auf der Tangentialebene der Netzhaut Bilder giebt, die dem Bilde der Horopterlinie parallel sind. Dies würde auch MEISSNER gar nicht bestreiten, denn er urgirte das Parallelerscheinen solcher Doppelbilder nur für den mittlen Theil der Netzhaut, nicht aber für die äusserste Peripherie derselben, die ja doch praktisch gar nicht in Betracht kommt. CLAPARÈDE hat sich aber überhaupt die Sache nicht recht klar gemacht, denn er fügt hinzu, dass der Horopter dann aus lauter doppelt gesehenen Punkten würde bestehen müssen, weil man bei allmählicher Verrückung der Linie, vor wie hinter dem fixirten Punkte, einen jeden Punkt der Horopterlinie zum Durchschnittspunkte der zum Versuche dienenden Linie machen könnte. Dies könnte aber darum gar nicht der Fall sein, weil man bei jeder Verrückung der Linie auch ihren Neigungswinkel entsprechend d. h. so ändern müsste, dass sie stets die Horopterlinie in einem und demselben Punkte durchschnitte. Dabei würde das Netzhautbild der Linie auf immer andre Längsschnitte zu liegen kommen, sein Durchschnittspunkt mit dem Bilde der Horopterlinie, d. i. mit dem Längsmittelschnitte, aber immer derselbe, d. i. der Pol der sämmtlichen Längsschnitte bleiben.

§. 94.

Es bleibt jetzt nur noch der empirische Horopter der unsymmetrischen Convergenzstellungen mit ungleich gelege-

nen Mittelschnitten übrig. Darüber ist wenig zu sagen; denn es versteht sich wohl von selbst, dass man für so verwickelte Verhältnisse eine empirische Bestätigung des mathematischen Horopters nicht verlangen wird, nachdem der letztere bei allen einfacheren Versuchsbedingungen die Probe bestanden hat. Wollte man sich die überflüssige Mühe geben, den Horopter für eine bestimmte Stellung dieser Art zu berechnen und dann die Augen in diese Stellung zu bringen, so würde eine annähernde empirische Bestätigung ebenfalls möglich sein. Aber jener Berechnung müsste die schwierige experimentelle Bestimmung der Neigung der Mittelschnitte mittels Nachbildversuchen oder dergl. vorangehen.

Dass der Horopter der unsymmetrischen Convergenzstellungen nur ein Punkt sei, haben MEISSNER und Andre vor und nach ihm lediglich behauptet, keineswegs theoretisch oder experimentell bewiesen, sodass man sich unbedenklich an die in §. 82. gegebene theoretische Bestimmung halten darf.

Druck von Breitkopf und Härtel in Leipzig.

BEITRÄGE

ZUR

PHYSIOLOGIE.

VON

Dr. med. **EWALD HERING,**

PRAKTISCHEM ARZTE UND PRIVATDOCENTEN DER PHYSIOLOGIE.

VIERTES HEFT:

ALLGEMEINE GEOMETRISCHE AUFLÖSUNG DES HOROPTERPROBLEMS.
VON DEN BEWEGUNGEN DES MENSCHLICHEN AUGES.

LEIPZIG,

VERLAG VON WILHELM ENGELMANN.

1864.

VORWORT.

Der erste Abschnitt dieses Heftes bringt eine ganz allgemeine geometrische Auflösung des Horopterproblems nach allen seinen wesentlichen Beziehungen. Das Problem fordert zu rein geometrischer Behandlung geradezu heraus, weil dieselbe vor der analytischen den Vorzug der Anschaulichkeit hat, auf die es doch hier vorzugsweise ankommt. §. 95—98. setzt die Bekanntschaft mit der STEINER'schen Geometrie voraus, §. 99—105. ist auch ohne dieselbe verständlich. Um nicht zuviel Papier auf den Horopter zu verwenden, habe ich mich mit der Andeutung des Entwicklungsganges der Lösung und mit Angabe der wesentlichsten Ergebnisse begnügt. Der interessirte Leser wird sich die ausgelassenen leichteren Einzelbeweise selbst ergänzen können.

Die Methode ist dieselbe, nach welcher ich schon im vorigen Hefte den Horopter im Allgemeinen (S. 197) und ausserdem noch für einzelne Fälle insbesondre (§. 78—81.) in ganz elementarer Weise entwickelt habe. Ein halbes Jahr nach Veröffentlichung dieser Arbeit erschien im Septemberhefte (1863) der Heidelberger Jahrbücher eine analytische Abhandlung von HELMHOLTZ über den Horopter, deren Inhalt schon im November 1862 dem Heidelberger naturhistor.-mediz. Vereine vorgetragen worden war. In Betreff dieser Arbeit des geschätzten Forschers habe ich Folgendes zu bemerken.

Dass der Horopter immer mindestens eine Linie sein muss, ist für den Mathematiker selbstverständlich. Es kann also lediglich darauf ankommen, eine einfache Methode zur speciellen Auffindung der Curve für jeden beliebigen Fall zu geben. Dies habe ich l. c. gethan. Wenn also Helmholtz angiebt*), ich hätte nur behauptet, dass der Horopter immer linienförmig sei, so beruht dies auf einem Missverständniss. Mein Beweis für die allgemeine Nothwendigkeit einer Curve doppelter Krümmung (l. c. S. 197) ist einfach und leicht verständlich. Ueber den mathematischen Namen und die Gestalt der Curve habe ich mich allerdings nicht ausgesprochen; wer sie näher kennen wollte, konnte sie sich nach meiner Methode construiren.

Was nun aber die Arbeit von Helmholtz betrifft, so wird der von mir hochgeschätzte Forscher mir gestatten, ihn darauf aufmerksam zu machen, dass seine Methode sehr verwickelt ist, dass er die Aufgabe, die er sich selbst stellte, im Allgemeinen gar nicht gelöst hat, und dass er ohne Versuch eines Beweises die falsche Behauptung aufgestellt hat, die Horoptercurve habe zwei Zweige. Für gewisse Specialfälle hat Helmholtz allerdings das Richtige getroffen, und er hat, was ich besonders hervorheben will, zuerst angegeben, dass der Horopter für alle symmetrischen Augenstellungen aus einem Kreise und einer Geraden bestehe. Helmholtz hat sich aber die Sache viel schwerer gemacht, als nöthig war. Er führt nämlich ohne Noth eine Fläche vierten Grades ein und verwickelt dadurch die Rechnung so, dass er es schliesslich aufgegeben zu haben scheint, sie zu Ende zu führen. So kommt es, dass in der Abhandlung gerade das fehlt, was man allein von einer analytischen Lösung des Horopterproblems wissen will, d. h. es fehlen die Projectionen der Curve, es fehlt sogar die Angabe ihres Grades. Die Schlussbehauptung endlich, die Curve

---

*) Archiv f. Ophthalmol. IX. II. (September 1863) S. 159: »Seitdem hat auch E. Hering die richtige Behauptung aufgestellt, dass der Horopter immer linienförmig sei, ohne aber die Gestalt der Curve zu bestimmen.«

bestehe, ähnlich einer Hyperbel, aus zwei Zweigen, beruht auf einem Rechnungsfehler oder auf blosser Schätzung.

Wenn nun HELMHOLTZ angiebt, dass ich die Gestalt der Curve nicht bestimmt, so trifft der Vorwurf dieses Mangels seine Arbeit in viel höherem Grade als die meine, denn ich hatte gar nicht die Absicht, diese Gestalt näher zu besprechen; meine Arbeit war nicht vollständig, aber was sie brachte, war richtig.

Da also die von HELMHOLTZ gegebene analytische Lösung ungenügend ist, und da doch manche die analytische Behandlung der rein geometrischen vorziehen, so hat mein werther Freund, Herr Dr. HANKEL, es übernommen, das Problem (mittels des Längs- und Querhoropters) analytisch zu lösen, und wird darüber demnächst in POGGENDORFF's Annalen der Physik berichten.

Die schon früher von v. RECKLINGHAUSEN, neuerdings von HELMHOLTZ und insbesondere von VOLKMANN gefundenen Incongruenzen beider Augen in Betreff der Anordnung der physiologisch correspondirenden Richtungslinien habe ich nur nebenbei berücksichtigt. Erstens sind dieselben in meinen Augen unerheblich, wie sie denn überhaupt grosse individuelle Verschiedenheit zeigen, zweitens sind sie noch nicht hinreichend untersucht. So lange nicht nachgewiesen ist, dass auch normale Augen, d. h. solche welche ebensoviel für die Ferne als für die Nähe gebraucht werden, dieselben Abweichungen zeigen, so lange lassen sich letztere wohl noch nicht als etwas Allgemeingültiges ansehen. Die Augen der Gelehrten sind sämmtlich pathologische.

Im zweiten Abschnitte dieses Heftes sind drei Principien der Augenbewegung aufgestellt. Das eine derselben ist schon von MEISSNER, diesem um die Lehre von den Augenbewegungen höchst verdienten Forscher, berücksichtigt worden, konnte aber von ihm wegen seiner irrigen Ansichten über den Horopter nicht gehörig gewürdigt werden. Die beiden andern Principien sind früher noch nicht erörtert worden; doch will ich ausdrücklich erwähnen, dass HELMHOLTZ das Verdienst

gebührt, zuerst die Orientirung während der Bewegung schärfer in Betracht gezogen zu haben, wenngleich ich sein hierfür aufgestelltes Princip für unhaltbar erklären muss. Auch das von Helmholtz (schon früher von Meissner) aufgestellte Princip der Orientirung bei den Ruhestellungen des Auges habe ich als durchaus unhaltbar zurückweisen müssen. Ich glaube mich nicht mit der Annahme zu irren, dass der geistvolle Forscher bei Aufstellung dieser Principien noch unter der Herrschaft des Vorurtheils gestanden hat, dass die Richtungslinien oder Visirlinien die Sehrichtungen seien. Die scharfsinnige Rechnung, durch welche Helmholtz aus seinen Principien das Listing'sche Gesetz abzuleiten sucht, gründet sich, wie ich zeigen werde, ebenfalls auf physiologisch unzulässige Voraussetzungen.

Möge der Koryphäe der physiologischen Optik aus meiner eingehenden Kritik seiner Arbeiten ersehen, wie grosse Bedeutung ich Allem beilege, was aus seiner Feder fliesst.

Leipzig, im Juni 1864.

Der Verfasser.

INHALT.

Berichtigung: S. 235, dritte Zeile, lies statt »die Assymptote: eine Parallele der Assymptote.«

Allgemeine geometrische Auflösung des Horopterproblems.

§. 95 *).

Der Horopter als Durchschnitt eines Kreiscylinders und eines elliptischen Kegels.

Kreuzten sich alle Richtungslinien eines Auges genau in einem Punkte, und entspräche die sogenannte Identität der Netzhäute vollständig dem bekannten Schema, so würden die in beiden Augen correspondirenden Richtungslinien so angeordnet sein, dass bei gewissen Augenstellungen ein gleichzeitiger Parallelismus jeder zwei correspondirenden Richtungslinien stattfände. Bei allen übrigen Stellungen würde es ein, aber auch nur ein paralleles Paar correspondirender Richtungslinien geben; denn die Richtungslinie *a*, um welche als Axe man das eine Auge in entsprechende, d. i. parallele Lage zum andern gedreht denken kann, muss vor wie nach solcher Drehung parallel zur correspondirenden Richtungslinie *a* im andern Auge liegen, während jede andre Richtungslinie, da sie ihrer Correspondirenden erst durch die Drehung parallel wird, dies nicht vor der Drehung gewesen sein kann **).

Unter diesen Voraussetzungen soll der Horopter bestimmt werden, als die Gesammtheit der Punkte, in denen sich correspondirende Richtungslinien schneiden.

---

*) §. 95—98 ist für diejenigen berechnet, welche nicht geübte Mathematiker sind. Die für das Problem wesentlichen geometrischen Thatsachen sind möglichst anschaulich auseinander entwickelt, die Specialbeweise aber der Kürze wegen nicht ausgeführt. Wer einigermassen mit der Geometrie vertraut ist, wird sich die einfachen Beweise leicht selbst ergänzen. Einige Bekanntschaft aber mit der Geometrie, sowie etwas geometrisches Anschauungsvermögen muss für das Folgende vorausgesetzt werden.

**) Hierbei ist jedoch der in Wirklichkeit nicht vorkommende Fall unberücksichtigt, wo das eine Auge im Vergleich zum andern um die Richtungslinie *a* als Axe um 180° verdreht ist.

Legen wir in jedem Auge durch die Richtungslinie a (α), welche ihrer Correspondirenden α (a) im andern Auge parallel liegt, alle möglichen Ebenen, so entspricht jeder dieser Ebenen im einen Auge eine Ebene im andern derart, dass beide nur correspondirende Richtungslinien enthalten und die Netzhäute in correspondirenden Linien durchschneiden, die wir correspondirende $\mathcal{A}$Schnitte der Netzhäute nennen wollen. Jede zwei sich so entsprechende Ebenen schneiden sich in einer Geraden, deren sämmtliche Punkte sich auf correspondirenden $\mathcal{A}$ Schnitten, aber nicht nothwendig auch auf correspondirenden Punkten dieser Schnitte abbilden. Sämmtliche solche Durchschnittslinien entsprechender Ebenen stellen sammt den beiden parallelen Richtungslinien a, α einen durch den Fixationspunkt und beide Kreuzungspunkte der Richtungslinien gehenden Kreiscylinder dar*), dessen sämmtliche Einzelpunkte sich somit auf correspondirenden $\mathcal{A}$ Schnitten der Netzhäute abbilden.

Legen wir ferner durch jede Gesichtslinie alle möglichen Ebenen, so entsprechen sich wieder in beiden Augen je zwei dieser Ebenen (Meridianebenen) derart, dass beide die Netzhäute in correspondirenden Linien schneiden, die wir correspondirende Meridiane nennen wollen **). Je zwei entsprechende Meridianebenen schneiden sich in einer durch den Fixationspunkt gehenden Geraden, deren sämmtliche Punkte sich auf correspondirenden Meridianen, doch nicht nothwendig auch auf correspondirenden Punkten derselben abbilden, und die Gesammtheit solcher Durchschnittslinien bildet, mitsammt den Gesichtslinien, im Allgemeinen einen elliptischen Kegel, der also den Fixationspunkt zum Mittelpunkte hat und die Blickebene in den beiden Gesichtslinien durchschneidet***).

Da in jedem Auge diejenige Ebene e (ε), welche durch die Gesichtslinie und die Richtungslinie a (α) geht, sowohl zu den durch die Gesichtslinie, als zu den durch die Richtungslinie a (α) gelegten Ebenen gehört, so muss die Durchschnittslinie G der beiden Ebenen e, ε sowohl dem Kegel als dem Cylinder angehören; alle Punkte die-

*) Folgt aus dem Satze von den gleichen Peripheriewinkeln.

**) Es ist nicht zu übersehen, dass diese Meridianschnitte der Netzhäute bei allen Augenstellungen dieselben sind, während die $\mathcal{A}$ Schnitte mit der Augenstellung ihre Lage auf den Netzhäuten wechseln.

***) Vergl. §. 104.

...var auf den correspondirenden Meridia-
...lirende A Schnitte sind, aber nicht
...enden Punkten abbilden.
...ssen sich Kegel und Cylinder im All-
...dem aber schneiden sie sich im Allgemei-
...senen Curve doppelter Krümmung, welche
... Unendliche läuft, aus einem Zuge besteht und
...m Fixationspunkte geschnitten und in ihrem un-
...nkte berührt wird. Als Durchschnitt zweier Flächen
... ist die Curve in Gemeinschaft mit der Geraden G
...vom vierten, an sich aber eine Curve vom dritten Grade.
...ve ist der Horopter; denn jeder Punkt derselben bildet sich,
...sagten zufolge, sowohl auf correspondirenden Meridianen, als
...orrespondirenden A Schnitten, also auf correspondirenden Punk-
...der Netzhäute ab, insofern jeder Netzhautpunkt als Durchschnitt
...nes Meridians mit einem A Schnitte bestimmt werden kann.

Liegt insbesondere, wie dies bei symmetrischen Augenstellungen der Fall ist, die Gerade G in der Medianebene*), so schneidet eine senkrecht zur Geraden G durch beide Kreuzungspunkte gelegte Ebene im Allgemeinen den Kegel und den Cylinder in einem und demselben Kreise, der also zugleich den Durchschnitt dieser beiden Flächen darstellt; in der Geraden G aber berühren sich Kegel und Cylinder, und sämmtliche Punkte dieser Berührungslinie bilden sich auf correspondirenden Punkten ab, da die beiden Kreuzungspunkte symmetrisch zu ihr liegen. Eine durch den Fixationspunkt gehende, in der Medianebene liegende und im Allgemeinen zur Blickebene geneigte Gerade**) und ein durch letztere und durch beide Kreuzungspunkte gelegter Kreis, dessen Ebene zu der Geraden senkrecht ist, bilden also den besonderen Horopter der symmetrischen Augenstellungen.

Liegen insbesondere correspondirende Meridiane in der Blickebene, so fallen in der Blickebene zwei entsprechende Meridianebenen zusammen, und die Durchschnittslinien aller übrigen entsprechenden Meridianebenen bilden eine zweite Ebene, welche im Fixationspunkte auf der Hälftungslinie des Convergenzwinkels der Gesichts-

*) Das ist die Ebene, welche den Kopf in symmetrische Hälften theilt.

**) MEISSNER's Horopterlinie.

linien senkrecht steht. Der elliptische Kegel ist also hier in den Grenzfall zweier zueinander senkrechter Ebenen übergegangen. Die eine, zur Blickebene senkrechte Ebene schneidet im Allgemeinen den ebenfalls zur Blickebene senkrechten Cylinder ausser in der Geraden G in einer zweiten, in der Medianebene liegenden Geraden; die zweite Ebene (Blickebene) schneidet den Cylinder in einem Kreise. Dieser durch den Fixationspunkt und beide Kreuzungspunkte gehende Kreis*) und die Gerade**), welche in dem, von beiden Kreuzungspunkten gleichweit noch vorn entfernten Punkte des Kreises auf der Blickebene senkrecht steht, bilden also den besonderen Horopter derjenigen Augenstellungen, bei denen correspondirende Meridiane in der Blickebene liegen.

Es ist also der Horopter im Allgemeinen eine durch den Fixationspunkt und beide Kreuzungspunkte gehende, aus einem Zuge bestehende, nicht geschlossene Curve doppelter Krümmung vom dritten Grade, welche stets auf einem Kreiscylinder liegt und in besondern Fällen aus einem durch die Kreuzungspunkte gehenden Kreise und einer in der Medianebene vor den Augen liegenden Geraden besteht, die den Kreis vertikal zu seiner Ebene durchschneidet. Der Kreis geht durch den Fixationspunkt und die Gerade ist senkrecht zur Blickebene, wenn correspondirende Meridiane in der Blickebene liegen; Kreis und Gerade sind zur Blickebene geneigt und der Fixationspunkt liegt in der Geraden, wenn die Augen symmetrisch stehen und differente Meridiane in der Blickebene liegen; Kreis und Gerade schneiden sich im Fixationspunkte, wenn bei symmetrischer Augenstellung correspondirende Meridiane in der Blickebene liegen.

§. 96.

Veranschaulichung der Horoptercurve.

Auch der aus Kreis und Gerader bestehende Horopter lässt sich ansehen als eine aus einem Zuge bestehende Curve, welche gleichsam

*) MÜLLER's Kreishoropter.

**) PRÉVOST's vertikale Horopterlinie.

als Gerade aus der Unendlichkeit kommt, plötzlich ein rechtwinkliges Knie macht, nun als Kreis durch beide Kreuzungspunkte geht, an die Knickungsstelle zurückgekommen nochmals ein rechtwinkliges Knie macht und dann wieder als Gerade in die Unendlichkeit ausläuft, entgegengesetzt der Richtung, aus der sie kam.

Einen annähernd ähnlichen Verlauf nimmt die Horoptercurve auch sonst. Sie kommt auf dem betreffenden Cylinder mit sehr schwacher Krümmung aus der Unendlichkeit, macht plötzlich ein mehr oder weniger stumpfes Knie, geht annähernd kreisförmig, aber immer mit doppelter Krümmung durch beide Kreuzungspunkte hindurch, kommt so in die Nähe des Kniees zurück, macht, ohne dasselbe zu berühren, abermals ein stumpfes Knie und läuft dann wieder mit schwacher Krümmung in die Unendlichkeit aus, entgegengesetzt der Richtung, aus der sie kam. Die vorher rechtwinkligen, sich mit den Spitzen berührenden Kniee sind hierbei gleichsam auseinandergezogen.

§. 97.

Einfachste Construction des Horopters.

Zur Bestimmung einer Augenstellung benutzt man bekanntlich die Lage der Gesichtslinie g (γ) und den sogenannten Raddrehungswinkel, d. h. den Winkel zwischen Blickebene und derjenigen Richtungslinie r (ϱ), welche senkrecht zur Blickebene stehen würde, wenn alle correspondirenden Richtungslinien parallel, und die Gesichtslinien rechtwinklig zur Verbindungslinie der Kreuzungspunkte (Grundlinie) lägen. Mit Hülfe dieser gegebenen Richtungslinien r, ϱ und der Gesichtslinien bestimmen wir zunächst das jeweilige parallele Paar correspondirender Richtungslinien a, α. Wir hälften im einen Auge erstens den Winkel, welcher von der Gesichtslinie g und der zur Gesichtslinie γ des andern Auges parallelen Richtungslinie eingeschlossen wird, durch eine zur Ebene des Winkels (d. i. zur Blickebene) senkrechte Ebene E, und hälften zweitens den Winkel, welcher von der Richtungslinie r und der zur correspondirenden Richtungslinie ϱ parallelen Richtungslinie gebildet wird, ebenfalls durch eine zur Ebene des Winkels senkrechte Ebene E'. Der Durchschnitt beider Ebenen E und E' ist die eine Richtungslinie a des parallelen Paares. Durch

diese Richtungslinie a, den Kreuzungspunkt des andern Auges und den Fixationspunkt ist der erwähnte Kreiscylinder bestimmt.

Die durch den Fixationspunkt gehende, der Richtungslinie a parallele Gerade ist die Gerade G. In einer Ebene, welche diese Gerade G ausserhalb des Fixationspunktes rechtwinklig schneidet, ziehen wir einen Kreis durch die drei Punkte, in welchen die Ebene von der Geraden G und von den beiden Gesichtslinien durchschnitten wird. Bewegen wir nun eine im Fixationspunkte feste Gerade so, dass sie stets diesen Kreis berührt, so beschreibt diese Gerade den erwähnten elliptischen Kegel und schneidet den gefundenen Kreiscylinder im Allgemeinen in der Geraden G und im Horopter.

Diese ganz allgemein gültige Construction vereinfacht sich wesentlich

1) bei symmetrischer Augenstellung: man legt in jedem Auge durch die Gesichtslinie g (γ) und die gegebene Richtungslinie r (ϱ) *) eine Ebene; die Durchschnittslinie G beider Ebenen und der durch diese Gerade und beide Kreuzungspunkte gelegte Kreis, dessen Ebene zur Geraden G rechtwinklig liegt, sind der Horopter;

2) wenn correspondirende Meridiane in der Blickebene liegen: der durch Fixationspunkt und beide Kreuzungspunkte gehende Kreis und die Gerade G, welche in dem von beiden Kreuzungspunkten gleichweit nach vorn abstehenden Punkte des Kreises zur Ebene des letzteren senkrecht steht, sind der Horopter.

§. 98.

Das Netzhautbild des Horopters. Der Horopter als Durchschnitt zweier congruenter elliptischer Kegel.

Jede Netzhaut sei eine Ebene. Eine beliebige durch beide Kreuzungspunkte gelegte Ebene schneidet jede Netzhaut in einer Geraden l (λ). Wenn wir jetzt beide Netzhäute so in einander legen, dass alle correspondirenden Punkte zusammenfallen, so werden die beiden Geraden l, λ im Allgemeinen nicht zusammenfallen, sondern sich schneiden im Punkte P. Bringen wir dann die Netzhäute in ihre alte Lage zurück, so zerfällt der Punkt P in die beiden correspondi-

*) oder die vertikale Trennungslinie.

renden Punkte p, π, die mit den beiden Kreuzungspunkten in einer Ebene liegen, so dass also ihre Richtungslinien sich schneiden und einen Horopterpunkt erzeugen müssen. Wir können also beliebig viele solche dem Horopter entsprechende Netzhautpunkte auf folgende Weise finden:

Wir bestimmen auf jeder Netzhautebene den Punkt m (μ), in welchem sie von der, durch beide Kreuzungspunkte gelegten Geraden (Grundlinie) geschnitten wird, wählen dann auf derjenigen Geraden, in welcher beide Netzhautebenen sich schneiden, beliebig viele Punkte und verbinden jeden derselben einerseits durch eine Gerade l, l', l''.... mit dem Punkte m, anderseits durch eine Gerade λ, λ', λ'' .... mit dem Punkte μ. So erhalten wir auf jeder Netzhaut eine Anzahl Gerader, die sich im Punkte m (μ) durchschneiden. Zeichnen wir nun dieses Büschel gerader Linien von der einen Netzhaut so in die andre Netzhaut, wie es auf derselben zu liegen käme, wenn beide Netzhäute in der eben erwähnten Weise zusammengelegt wären, so werden beide Büschel sich durchkreuzen. Bestimmen wir sodann jeden Punkt P, P', P'' ...., wo zwei entsprechende Gerade, also l u. λ, l' u. λ', l'' u. λ'' .... sich schneiden, so erhalten wir auf jeder Netzhaut im Allgemeinen beliebig viele Punkte eines Kegelschnittes*), welcher die Gesammtheit derjenigen correspondirenden Punkte darstellt, deren Richtungslinien sich schneiden und den Horopter erzeugen. Dieser Kegelschnitt**) ist also der mittels der Richtungslinien auf die Netzhaut projicirte Horopter, d. h. das Netzhautbild desselben. Die Gesammtheit der Richtungslinien aber, welche diesem Kegelschnitte entsprechen, bildet im Allgemeinen einen in beiden Augen congruenten elliptischen Kegel, und beide Kegel schneiden sich in der durch beide Kegelmittelpunkte (Kreuzungspunkte) gehenden Geraden und in der Horoptercurve***).

---

*) Vergl. §. 105.

**) Wie ich schon früher (REICHERT und DU BOIS Archiv 1864. I. Heft) angegeben habe, ist dieser Kegelschnitt in den meisten Fällen insbesondere eine Hyperbel.

***) Diese Methode, das Netzhautbild des Horopters und damit diesen selbst zu finden, habe ich bereits im dritten Hefte dieser Beiträge (pag. 197.) im Wesentlichen erörtert und damit die verbreitete Annahme widerlegt, dass der Horopter der bezüglichen Augenstellungen nur ein Punkt sei.

Wenn insbesondere zwei entsprechende Gerade der auf eine Netzhaut gezeichneten Büschel zusammenfallen, so schneiden sich alle übrigen Paare entsprechender Geraden (l u. λ, l' u. λ' . . .) in einer und derselben, zu jener vereinigten Geraden rechtwinkligen Geraden. An Stelle des Kegelschnittes treten also zwei sich rechtwinklig kreuzende Gerade und an Stelle des elliptischen Kegels zwei sich rechtwinklig schneidende Ebenen. Die eine Ebene schneidet sich mit der entsprechenden Ebene des andern Auges in einer Geraden G, die andere fällt mit der entsprechenden Ebene des anderen Auges zusammen, und in dieser vereinigten Ebene liegt der Kreis, welcher mit der Geraden G den Horopter ausmacht (vgl. §. 102 u. 105).

§. 99.

Allgemeinere Fassung des Problems*).

Die gesammten Richtungslinien beider Augen bilden zwei projectivisch gleiche Strahlbüschel im Raume und der Horopter ist das Erzeugniss dieser projectivischen Gebilde.

Durch den Mittelpunkt jedes der beiden Strahlbüschel lassen sich unendlich viele Ebenen legen. Jeder solchen Ebene im einen Strahlbüschel entspricht im andern eine Ebene insofern, als beide nur entsprechende Strahlen enthalten; zwei solche Ebenen sollen ein entsprechendes Ebenenpaar heissen. Jeder Strahl eines Strahlbüschels lässt sich ansehen als Axe eines Ebenenbüschels. Jedem solchen Ebenenbüschel im einen Strahlbüschel entspricht im andern ein ihm projectivisch gleiches Ebenenbüschel insofern, als ihre Axen ein entsprechendes Strahlenpaar darstellen und als beide nur entsprechende Ebenen enthalten; zwei solche Ebenenbüschel sollen ein entsprechendes Ebenenbüschelpaar heissen.

Liegen beide Strahlbüschel parallel, so schneiden sich sämmtliche

---

*) Der Kürze wegen habe ich im Folgenden nicht die ausführlichen Beweise für die einzelnen Sätze beigegeben, sondern durch eingeschaltete Zahlen auf diejenigen Sätze des STEINER'schen Werkes: »System. Entwicklung der Abhängigkeit geometr. Gestalten von einander« verwiesen, aus denen die Beweise sich unmittelbar ergeben.

entsprechende Strahlenpaare in einer unendlich fernen Ebene, und in der durch beide Mittelpunkte gehenden Geraden ist ein entsprechendes Strahlenpaar vereinigt. Dieser Fall, sowie derjenige, in welchem das eine Strahlbüschel um irgend einen seiner Strahlen um 180° gegen das andre verdreht ist, wird im Folgenden nicht berücksichtigt. Alle übrigen Lagen der Strahlbüschel zu einander sollen schiefe heissen.

Bei jeder schiefen Lage der Strahlbüschel giebt es immer ein, aber auch nur ein Paar paralleler entsprechender Strahlen, welches kurz das parallele Strahlenpaar heissen soll, und unter allen in den Strahlbüscheln möglichen Ebenen immer ein, aber auch nur ein Paar paralleler entsprechender Ebenen, welches zu dem parallelen Strahlenpaare rechtwinklig liegt und das parallele Ebenenpaar heissen soll. Das parallele Strahlenpaar kann insbesondere in einen Strahl, das parallele Ebenenpaar in eine Ebene zusammenfallen; ersteres soll dann das vereinigte Strahlenpaar, letzteres das vereinigte Ebenenpaar heissen.

§. 100.

Die Partialhoropteren.

Jedes entsprechende Ebenenbüschelpaar der schiefliegenden Strahlbüschel erzeugt im Allgemeinen eine geradlinige Fläche zweiten Grades, nämlich die Gesammtheit der Durchschnittslinien je zweier entsprechender Ebenen der Ebenenbüschel sammt den Axen der letzteren bildet eine Fläche zweiten Grades, welche in Rücksicht auf unsern besonderen Zweck ein Partialhoropter heissen soll *). Liegen die Axen des Ebenenbüschelpaares weder in einer

*) Wie im dritten Kapitel des STEINER'schen Werkes gezeigt wird, lassen sich die geradlinigen Flächen zweiter Ordnung mit Hülfe zweier projectivischen Ebenenbüschel erzeugen. Wir haben es nun hier insofern nur mit besonderen Fällen zu thun, als zwei entsprechende Ebenenbüschel insbesondere projectivisch gleich sind, daher denn die von ihnen erzeugten Flächen auch besondere Eigenschaften haben; d. h. der von projectivisch gleichen Ebenenbüscheln erzeugte Cylinder ist insbesondere ein Kreiscylinder oder ein gleichseitig-hyperbolischer Cylinder, das hyperbolische Paraboloid ist insbesondere ein gleichseitiges, der Kegel und das einschalige Hyperboloid sind insbesondere solche, dass jeder Kreisschnitt zu einem ihrer Strahlen (Generatrix) senkrecht liegt. Diese besonde-

Ebene noch in dem parallelen Ebenenpaar, so ist die erzeugte Fläche ein einschaliges Hyperboloid (51. IV. 1.), dessen Kreisschnitte zu einer Generatrix senkrecht sind; liegen die Axen in dem parallelen Ebenenpaar, d. h. sind zwei entsprechende Ebenen der Ebenenbüschel parallel, so ist die Fläche ein gleichseitiges hyperbolisches Paraboloid (52. I. 2. *b.*); liegen die Axen convergirend in einer Ebene, aber nicht in dem vereinigten Ebenenpaar, so ist die Fläche ein elliptischer Kegel (38. II.), dessen Kreisschnitte senkrecht sind zu einer der beiden Geraden, in welchen der Kegel geschnitten wird von einer Ebene, die auf der Ebene beider Axen in der Hälftungslinie des Axenwinkels senkrecht steht; sind die Axen parallel, d. h. sind sie das parallele Strahlenpaar, so ist die Fläche ein Kreiscylinder (40. III.); liegen die Axen in der Ebene des vereinigten Ebenenpaares, d. h. haben beide Ebenenbüschel eine Ebene gemein, so besteht die Fläche aus zwei sich rechtwinklig schneidenden Ebenen, deren eine die Ebene des vereinigten Ebenenpaares ist, während die andere den Winkel der Axen hälftet (40. III.); (fallen endlich die Axen zusammen, d. h. sind sie das vereinigte Strahlenpaar, so reducirt sich die Fläche auf die Gerade, in der die beiden Axen vereinigt sind, ein Fall, der für das Folgende ohne Interesse ist).

§. 101.

Der Totalhoropter.

Bestimme ich den Durchschnitt zweier beliebiger Partialhoropteren, d. h. wähle ich zwei Paare entsprechender Ebenenbüschel, suche die von jedem Paare erzeugte Fläche und bestimme den Durchschnitt beider Flächen; so besteht dieser Durchschnitt im Allgemeinen erstens aus einer Geraden, d. h. der Durchschnittslinie desjenigen entsprechenden Ebenenpaares, welches beiden Ebenenbüschel-

---

ren geradlinigen Flächen zweiter Ordnung hat STEINER 53 u. 52. II. besprochen, und, wenn er auch nicht besonders angegeben hat, dass sie sich auch mit Hülfe projectivisch gleicher Ebenenbüschel erzeugen lassen, so wird doch jeder einigermaassen mit der Sache Vertraute leicht erkennen, warum dies der Fall sein muss, daher ich mich hier mit dem Beweise nicht aufhalten will.

paaren gemeinsam ist*), und zweitens aus einer diese Gerade schneidenden Curve doppelter Krümmung, für welche die Gerade zugleich die Asymptote ist und welche die Gesammtheit der Durchschnittspunkte entsprechender Strahlen, also auch die Mittelpunkte der beiden Strahlenbüschel enthält. Denn jeder Punkt der Curve ist der Durchschnitt eines Strahlenpaares, welches zwei entsprechenden Ebenenpaaren gemeinsam, also selbst ein entsprechendes Strahlenpaar ist. Diese Curve möge der Totalhoropter heissen. Da dasjenige entsprechende Ebenenbüschelpaar, welches das jeweilige parallele Strahlenpaar zu Axen hat, einen Kreiscylinder erzeugt, da ferner ein beliebiges Ebenenbüschelpaar, dessen Axen sich schneiden, einen elliptischen Kegel (oder insbesondere zwei zueinander rechtwinklige Ebenen) erzeugt, so folgt, dass der Totalhoropter als Durchschnitt eines Kreiscylinders und eines elliptischen Kegels (welchen beiden eine Gerade gemeinsam ist) bestimmt werden kann, dass er also stets auf einem Kreiscylinder liegt.

Ist die schiefe Lage der Strahlbüschel insbesondere eine solche, dass ein vereinigtes Ebenenpaar existirt, d. h. dass das zum parallelen Strahlenpaare rechtwinklige entsprechende Ebenenpaar in einer Ebene vereinigt ist, so steht der erwähnte kreiscylindrische Partialhoropter auf letzterer Ebene senkrecht, und jedes entsprechende Ebenenbüschelpaar, dessen Axen A, A' in eben dieser Ebene liegen, erzeugt, wie erwähnt, einen aus zwei Ebenen bestehenden Partialhoropter, dessen eine Ebene das vereinigte Ebenenpaar und die Axen A, A' enthält, während die andre im Schnittpunkte dieser Axen senkrecht liegt zu derjenigen Hälftungslinie des Axenwinkels, welche zwischen den beiden Mittelpunkten der Strahlbüschel hindurchgeht. Erstere Ebene schneidet den Kreiscylinder also in einem Kreise, letztere im Allgemeinen in zwei Geraden. Die eine dieser Geraden, welche im Allgemeinen nicht zum Totalhoropter gehört, geht durch den Schnittpunkt der Axen und ist die Durchschnittslinie des entsprechenden Ebenenpaares, welches beiden zur Erzeugung der beiden Partialhoropteren benutzten Ebenenbüschelpaaren gemeinsam ist; die andre Gerade ist eine von den beiden Mittelpunkten der Strahlbüschel gleich-

*) Nimmt man nämlich in einem Strahlbüschel zwei beliebige Strahlen als Axen zweier Ebenenbüschel, so haben diese beiden Ebenenbüschel offenbar diejenige Ebene gemein, welche die beiden Axen enthält.

weit abstehende Gerade des Kreiscylinders. Beide Gerade fallen im Besonderen in eine zusammen, wenn der Schnittpunkt der Axen A, A' gleichweit von den Mittelpunkten der Strahlbüschel absteht und daher die eine Ebene des aus zwei Ebenen bestehenden Partialhoropters den Kreiscylinder nicht schneidet, sondern nur berührt.

Der Totalhoropter besteht also in diesen besonderen Fällen aus einem Kreise und einer zur Ebene desselben senkrechten Geraden, welche den Kreis in einem von beiden Mittelpunkten der Strahlbüschel gleichweit abstehenden Punkte durchschneidet.

Bewegt man eine Gerade so, dass sie stets den Totalhoropter und beide Strahlen eines beliebigen entsprechenden Strahlenpaares berührt, so beschreibt die Gerade einen Partialhoropter, d. h. also eine geradlinige Fläche zweiten Grades, deren besondre Gestalt abhängt von der relativen Lage der beiden entsprechenden Strahlen, wie in §. 100 erörtert wurde. So oft das gewählte entsprechende Strahlenpaar in einer Ebene liegt, erfüllt die bewegte Gerade die Bedingung fortwährender Berührung beider Strahlen dadurch, dass sie stets im Durchschnittspunkte beider entsprechender Strahlen bleibt, und da dieser Punkt im Totalhoropter liegen muss, so folgt der Satz, dass im Allgemeinen jeder Punkt des Totalhoropters sich ansehen lässt als Mittelpunkt eines elliptischen Kegels, für welchen der Totalhoropter Leitlinie ist.

Aus der unendlichen Zahl der Partialhoropteren sind nur wenige von besonderem Interesse, die noch in der Kürze besprochen werden sollen.

§. 102.

Die Richtungsflächen des Totalhoropters.

Bewegt man eine im Mittelpunkte des einen Strahlbüschels feste Gerade so, dass sie stets den Totalhoropter berührt, so beschreibt sie, wie aus dem vorigen §. folgt, im Allgemeinen einen elliptischen Kegel oder in dem besonderen Falle, wo der Totalhoropter aus Kreis und Gerader besteht, zwei zu einander rechtwinklige Ebenen. Dieser Partialhoropter enthält die Gesammtheit der Strahlen (Richtungslinien) des einen Strahlbüschels, welche sich mit den ihnen

entsprechenden Strahlen des andern Strahlbüschels schneiden, und möge die Richtungsfläche des Totalhoropters heissen. Diese Richtungsfläche schneidet eine um den Mittelpunkt des Strahlbüschels gelegte Kugelfläche im Allgemeinen in einem sphärischen Kegelschnitte oder im besondern Falle in zwei sich rechtwinklig schneidenden grössten Kreisen. Nennen wir die eine Hälfte der Kugel Netzhaut, so ist jener sphärische Kegelschnitt oder sind diese zwei grössten Kreise, so weit sie auf diese Hälfte der Kugel fallen, das Netzhautbild des Totalhoropters. Die Richtungsfläche des Totalhoropters im einen Strahlbüschel ist congruent der Richtungsfläche im andern Strahlbüschel und es ist somit der Totalhoropter im Allgemeinen der Durchschnitt zweier congruenter elliptischer Kegel, deren Mittelpunkte mit den Mittelpunkten der Strahlbüschel zusammenfallen, und welche sich ausser im Totalhoropter in der durch beide Mittelpunkte gehenden Geraden durchschneiden. Bestehen die Richtungsflächen insbesondere aus zwei entsprechenden Ebenenpaaren, so schneidet sich das eine Paar in der Geraden des Totalhoropters, das andre fällt zusammen und stellt das vereinigte Ebenenpaar dar. Dasselbe enthält aus jedem Strahlbüschel ein ebenes Strahlbüschel, und da diese beiden ebenen Strahlbüschel projectivisch gleich und gleichliegend sind, so erzeugen sie einen Kreis (40. II.), d. h. den Kreis des Totalhoropters.

§. 103.

Längshoropter und Querhoropter.

Ein bestimmter Strahl jedes Strahlbüschels heisse Gesichtslinie; beide Gesichtslinien seien ein entsprechendes und sich stets schneidendes Strahlenpaar. Liegen beide Gesichtslinien rechtwinklig zu dem durch beide Mittelpunkte der Strahlbüschel gehenden Strahle und alle übrigen entsprechenden Strahlen parallel, so heisse der zur Ebene der Gesichtslinien, d. h. zur Blickebene senkrechte Strahl jedes Strahlbüschels Axe des Längsebenenbüschels, der in der Blickebene zu den Gesichtslinien rechtwinklig liegende Strahl Axe des Querebenenbüschels. Die bei beliebiger schiefer Lage der Strahlbüschel von den beiden Längsebenenbüscheln erzeugte Fläche

heisse der **Längshoropter**, die von beiden Querebenenbüscheln erzeugte der **Querhoropter**.

Längshoropter und Querhoropter sind im Allgemeinen, d. h. wenn die Axen der Längsebenenbüschel nicht in einer Ebene liegen **einschalige Hyperboloide**, deren Kreisschnitte zu einer Generatrix senkrecht liegen; dieselben gehen über in **gleichseitige hyperbolische Paraboloide**, wenn die Gesichtslinien das parallele Strahlenpaar bilden*) (vergl. §. 100).

Ist die Lage der Strahlbüschel insbesondere eine solche, dass ein vereinigtes Ebenenpaar existirt, so besteht dasselbe stets aus zwei entsprechenden Ebenen der Querebenenbüschel, welche letztere dann **perspectivisch** (31. I.) liegen. Dem entsprechend besteht (bei den symmetrischen Augenstellungen und den unsymmetrischen ohne Raddrehung) der **Querhoropter** aus der **Ebene des vereinigten Ebenenpaares**, d. i. die Ebene der Axen der Querebenenbüschel, und aus **einer zweiten, zur ersteren rechtwinkligen Ebene**, welche den Winkel der Axen hälftet und zwischen den Mittelpunkten der Strahlbüschel hindurchgeht. Die Axen der Längsebenenbüschel aber liegen hierbei in einer Ebene und es ist daher (bei den erwähnten Stellungen) der **Längshoropter** im Allgemeinen ein **elliptischer Kegel**, der die Ebene der Gesichtslinien in dem Kreise schneidet, welcher durch den Schnittpunkt der Gesichtslinien (Fixationspunkt) und durch die beiden Mittelpunkte der Strahlbüschel bestimmt ist. Der elliptische Kegel geht insbesondere in einen **Kreiscylinder** über, wenn (bei Augenstellung ohne Raddrehung) die Axen der Längsebenenbüschel das parallele Strahlenpaar bilden, somit auch die Ebene der Gesichtslinien das vereinigte Ebenenpaar und zugleich die eine Ebene des Querhoropters darstellt; er geht anderseits in zwei zu einander rechtwinklige Ebenen über, wenn (bei Parallelstellung der Gesichtslinien mit Raddrehung) **) das vereinigte Ebenenpaar aus zwei entsprechenden Längsebenen, d. h. aus den beiden Ebenen besteht, welche den Längs- und den Querebenenbüscheln gemeinsam sind, die

---

*) Dieser Fall würde nicht eintreten können, wenn die LISTING'sche Primärstellung und sein Gesetz der Augenbewegungen genaue Gültigkeit hätten, was nicht der Fall ist.

**) Auch dieser Fall könnte bei strenger Gültigkeit des LISTING'schen Gesetzes nicht eintreten.

Axen beider enthalten und zu den parallelen Gesichtslinien senkrecht liegen. Die Ebene dieses vereinigten Ebenenpaares und die zu ihr senkrechte den Winkel der Axen der Längsebenenbüschel hälftende, der Blickebene parallele Ebene bilden dann den Längshoropter.

Sowohl Längshoropter als Querhoropter werden von der Blickebene im Allgemeinen in einem Kegelschnitte geschnitten, der das Erzeugniss der beiden projectivischen ebenen Strahlbüschel ist, in denen das betreffende Ebenenbüschelpaar geschnitten wird (40. II. *a.*). Wenn man zu den zwei jederzeit gegebenen entsprechenden Strahlenpaaren dieser ebenen Strahlbüschel, d. h. zu den Gesichtslinien und den beiden zu ihnen rechtwinkligen Strahlen ein drittes entsprechendes Strahlenpaar bestimmt, dadurch, dass man den Durchschnitt der Blickebene mit zwei beliebigen entsprechenden Ebenen der beiden Ebenenbüschel construirt, so sind mit diesen drei entsprechenden Strahlenpaaren die beiden ebenen Strahlbüschel und somit der erwähnte Kegelschnitt bestimmt (11. I. β.). Dieser Kegelschnitt geht stets durch beide Mittelpunkte der Strahlbüschel, durch den Fixationspunkt und durch den Punkt, welcher in einem durch die ersteren drei Punkte bestimmten Kreise dem Fixationspunkte diametral gegenüber liegt. In besonderen Fällen treten an Stelle des Kegelschnittes zwei Gerade.

Längshoropter und Querhoropter haben stets die Gerade gemein, welche senkrecht zur Ebene der Gesichtslinien steht in demjenigen Punkte, welcher in dem durch beide Mittelpunkte und den Fixationspunkt gehenden Kreise letzterem Punkte diametral gegenüber liegt. Ausserdem aber schneiden sich jene beiden Partialhoropteren im Totalhoropter.

Die beschriebenen zwei Partialhoropteren haben ein besonderes physiologisches Interesse insofern, als bei aufrechter Kopfstellung alle auf dem Längshoropter, jedoch ausserhalb des Totalhoropters, gelegenen Punkte uns in vertikal übereinander liegenden Doppelbildern, alle auf dem Querhoropter, ausserhalb des Totalhoropters, gelegenen Punkte in horizontal nebeneinander liegenden Doppelbildern erscheinen: zwei Sätze, die jedoch für die mehr peripherisch liegenden Netzhauttheile keine strenge Gültigkeit haben *).

---

*) Vergl. hierüber S. 189 des III. Heftes dieser Beiträge.

§. 104.

Der Meridianhoropter.

Das entsprechende Ebenenbüschelpaar, welches die Gesichtslinien zu Axen hat, erzeugt, da letztere sich stets schneiden, im Allgemeinen einen elliptischen Kegel, welcher Meridianhoropter heissen soll. Derselbe schneidet selbstverständlich die Blickebene in den Gesichtslinien. Eine zu dieser Ebene senkrechte, den Winkel der Gesichtslinien hälftende und zwischen den beiden Mittelpunkten der Strahlbüschel hindurch gehende Ebene schneidet den Kegel in zwei Geraden, deren eine dem jeweiligen parallelen Strahlenpaare parallel ist. Alle Ebenen, welche zu einer dieser Geraden rechtwinklig liegen, schneiden die beiden Ebenenbüschel in projectivisch gleichen und gleichliegenden ebenen Strahlbüscheln und folglich den Kegel in einem Kreise.

Fallen insbesondere zwei entsprechende Ebenen der Meridianebenenbüschel zusammen, so geht der Kegel über in zwei Ebenen, deren eine die Ebene der Gesichtslinien ist, während die andere zur ersteren senkrecht steht und den Winkel der Gesichtslinien hälftet, (d. h. auf der sogenannten Halbirungslinie des Convergenzwinkels senkrecht steht).

Bestimmt man den Durchschnitt des Meridianhoropters mit dem Längs- oder Querhoropter, so erhält man im Allgemeinen ebenfalls den Totalhoropter.

§. 105.

Das Netzhautbild des Totalhoropters.

Das Netzhautbild des Totalhoropters ergab sich schon in §. 102 im Allgemeinen als ein ebener oder sphärischer Kegelschnitt, wenn die Netzhaut als eine zur Gesichtslinie senkrechte Ebene oder als Theil einer um den Mittelpunkt des Strahlbüschels gelegten Kugelfläche angesehen wurde. Dieses Netzhautbild lässt sich auch direct finden:

Betrachten wir die durch beide Mittelpunkte der Strahlbüschel gehende Gerade als Axe eines Ebenenbüschels, so wird letzteres von beiden ebenen (hemisphärischen) Netzhäuten in zwei projectivi-

…ischen) Strahlbüscheln geschnitten,
…rchschnittspunkte der Ebenenbüschelaxe
… Denkt man jedes dieser Strahlbüschel auf
…gt und dann beide Netzhäute so zusammengelegt,
…direnden Netzhautpunkte zusammenfallen, so lie-
…benen (sphärischen) Strahlbüschel auf der vereinigten
…e im Allgemeinen schief und erzeugen einen ebenen
…n) Kegelschnitt, der durch beide Mittelpunkte der ebenen
…schen) Strahlbüschel und durch den Punkt der Netzhaut geht,
welchem letztere von der Gesichtslinie geschnitten wird (40. II.
.. *b*.); oder die Strahlbüschel liegen insbesondere perspectivisch, und es treten an Stelle des Kegelschnittes zwei sich rechtwinklig schneidende Gerade (grössten Kreise). Denken wir uns den Kegelschnitt oder die Geraden (grösste Kreise) auf jeder Netzhaut fest und letztere in ihre alte Lage zurückgebracht, so stellen Kegelschnitt oder Gerade (grösste Kreise) das jeweilige Netzhautbild des Totalhoropters dar. Durch jedes dieser beiden Netzhautbilder und den zugehörigen Kreuzungspunkt der Richtungslinien ist ein elliptischer Kegel (die Richtungsfläche) und durch diese beiden Kegel zugleich der Totalhoropter bestimmt.

§. 106.

Historisches. Prévost's, Meissner's, Wundt's, Helmholtz's, Volkmann's Irrthümer.

A. Prévost*) bestimmte zuerst den vollständigen Horopter der Augenstellungen ohne Raddrehung**), irrte sich aber über den Horopter der übrigen Augenstellungen, den er für einen Punkt hielt. Unabhängig von ihm bestimmte später Burckhardt***) den Längs- und Querhoropter der symmetrischen Stellungen ohne Raddrehung und leitete daraus den Totalhoropter für diesen einfachsten Fall ab.

*) Poggendorff's Annalen 1844. Bd. 62. S. 548.

**) Neuerdings hat Fick (Physiologie der Sinnesorgane S. 326) angegeben, für die unsymmetrischen Augenstellungen ohne Raddrehung enthalte der Horopter ausser dem Müller'schen Kreise eine durch den Fixationspunkt gehende krumme Linie. Das ist, wie schon Prévost gezeigt hat, falsch.

***) Verhandl. der naturf. Gesellsch. zu Basel, I. Th. S. 123.

Meissner*) versuchte den Horopter empirisch zu bestimmen und kam dabei zu der irrigen Ansicht, der Totalhoropter der symmetrischen Stellungen sei eine Ebene; für die übrigen symmetrischen Stellungen fand er die wirklich zum Horopter gehörige Gerade, gab aber eine falsche Formel für ihre Neigung zur Blickebene. Den Horopter der anderen Augenstellungen hielt auch er für einen Punkt. v. Recklinghausen**) berechnete nach einer neuen Methode den Totalhoropter der symmetrischen Stellungen ohne Raddrehung und bestimmte zuerst den Meridianhoropter, den er »Normalfläche« nannte. Wundt***) zerlegte, wie Burckhardt, die Aufgabe in zwei, d. h. er versuchte zwei »partielle Horopteren« geometrisch zu bestimmen und daraus den Totalhoropter als »die Gesammtheit derjenigen Punkte, in welchen beide partielle Horopteren zusammentreffen«, abzuleiten. Unzweckmässiger Weise wählte er hierzu nicht, wie Burckhardt, zwei durch Ebenenbüschel erzeugte und somit geradlinige Partialhoropteren, sondern nur einen solchen, nämlich den Meridianhoropter, welchen er »Horopter der Winkelverschiebung« nannte, und ausserdem den Horopter der correspondirenden Parallelkreise†), den er als »Horopter der Linearverschiebung« bezeichnete. Es lag also der Methode Wundt's derselbe Gedanke zu Grunde, welchen später Helmholtz weiter ausführte. Wundt bestimmte jedoch erstens den Meridianhoropter trotz v. Recklinghausen's Vorgange falsch, fand zweitens als »Horopter der Linearverschiebung«, welcher eine Fläche vierten Grades ist, einen Kreis und eine Gerade, d. h. den Totalhoropter der Stellungen ohne Raddrehung, und leitete endlich aus diesen beiden vermeintlichen Partialhoropteren einen Totalhoropter ab, der, soweit er nicht das schon von Prévost oder Meissner Gefundene betrifft, falsch ist und überdies eigenthümlicher Weise eine Linie (die Meissner'sche) enthält, die gar nicht seinen beiden Partialhoropteren gemeinsam ist.

Ferner hat neuerdings Helmholtz††) das Problem analytisch

*) Physiologie des Sehorgans. Leipzig 1854.

**) Archiv f. Ophthalmol. 1859. V. Bd. II. Abth. S. 141.

***) Zeitschr. f. rat. Medic. 1861. III. Reihe. XII. Bd. S. 204.

†) Wenn anders ich aus der etwas dunklen Wundt'schen Darstellung das Richtige erfasst habe.

††) Heidelberger Jahrbücher 1863. Septemberheft.

behandelt. Er nimmt den Horopter als Durchschnitt des in §. 104 entwickelten Meridianhoropters und der eben erwähnten Fläche vom vierten Grade, welche die Gesammtheit der auf correspondirenden Parallelkreisen abgebildeten Punkte enthält, und welche er als Circularhoropter bezeichnet. HELMHOLTZ nennt jedoch Meridian nicht den ganzen Netzhautschnitt, welchen eine durch die Gesichtslinie gelegte Ebene (Meridianebene) erzeugt, sondern nur je eine Hälfte dieses Schnittes. Es besteht also ein im Obigen als Meridian bezeichneter Netzhautschnitt für HELMHOLTZ aus zwei um 180⁰ differirenden Meridianen, sozusagen aus zwei Halbmeridianen. Dem entsprechend enthält nur ein Theil der oben als Meridianhoropter geometrisch construirten, von HELMHOLTZ analytisch entwickelten Fläche diejenigen Punkte, welche sich auf correspondirenden Halbmeridianen abbilden, wie dies auch HELMHOLTZ angiebt; der andere Theil der Fläche enthält die Punkte, welche sich auf Halbmeridianen abbilden, die um 180⁰ differiren; die Grenze zwischen diesen beiden Theilen des Meridianhoropters wird von den beiden Gesichtslinien gebildet*).

HELMHOLTZ giebt nun zweitens die Formel für den Circularhoropter. Dieser ist das Erzeugniss zweier projectivisch gleicher Kreiskegelbüschel, deren Axen, d. h. die Gesichtslinien, sich schneiden. Als Durchschnitt dieser Fläche mit dem Meridianhoropter muss sich eine Curve ergeben, welche neben den sich auf correspondirenden Netzhautstellen abbildenden Punkten auch alle diejenigen Punkte enthält, die sich zwar auf correspondirenden Parallelkreisen, aber auf solchen Punkten derselben abbilden, welche um 180⁰ von einander abweichen**).

*) Wenn also HELMHOLTZ unter »Radialhoropter« den Partialhoropter der correspondirenden Halbmeridiane versteht und sodann die erwähnte Kegelfläche (beziehendlich die zwei Ebenen) als Radialhoropter bezeichnet, so ist dies dahin zu präcisiren, dass nur der eine Theil jener Fläche wirklich Radialhoropter ist, während der andre Theil, nicht wie HELMHOLTZ angiebt, symmetrische, sondern auf, um 180⁰ differirenden Halbmeridianen gelegene Bilder liefert.

**) Diese Curve, welche HELMHOLTZ jedoch gar nicht entwickelt hat, obwohl gerade hierin die Hauptaufgabe lag, ist geometrisch leicht zu construiren. Sie ist nicht vom achten, sondern vom sechsten Grade und lässt sich zerlegen in zwei Curven doppelter Krümmung vom dritten Grade, welche sich im Fixations-

Wenn man diese Curve aus den Formeln, welche HELMHOLTZ für seine beiden Partialhoropteren giebt, entwickelt hätte, was HELMHOLTZ l. c. nicht gethan hat, so bliebe demnach noch übrig, den Theil dieser Curve auszusondern, welcher nicht correspondirende Bilder liefert: erst der Rest der Curve wäre der Totalhoropter.

Der von HELMHOLTZ eingeschlagene Weg ist also ziemlich unzweckmässig, während, wie wir sahen, das Problem sich auf verschiedene Weise mittels Flächen zweiten Grades lösen lässt*).

Für die besonderen Fälle, wo der Horopter aus einem Kreise und einer Geraden besteht, hat HELMHOLTZ das Richtige gefunden, im Allgemeinen aber erklärt er den Horopter für eine Curve doppelter Krümmung, welche aus zwei Zweigen bestehe, die sich in der

---

punkte und in beiden Kreuzungspunkten durchschneiden und (im Allgemeinen) jede nur einen unendlich fernen Punkt haben. Legt man durch die Hälftungslinie des Convergenzwinkels der Gesichtslinien eine zur Blickebene vertikale Ebene (zx Ebene bei HELMHOLTZ), so schneidet diese den Meridianhoropter in zwei Geraden (für welche HELMHOLTZ die Formeln $z = -x \sin\alpha \operatorname{cotg.} \frac{\gamma}{2}$ u. $z = +x \sin\alpha \operatorname{tang} \frac{\gamma}{2}$ gab). Durch jede dieser Geraden und die beiden Kreuzungspunkte ist je ein Kreiscylinder bestimmt, und die Curve, in welcher nach Abzug der eben erwähnten zwei Geraden diese beiden Cylinder von dem Meridianhoropter geschnitten werden, ist die gesuchte Curve vom sechsten Grade. Es besteht nämlich dieselbe gleichsam aus zwei Totalhoropteren: erstens dem wirklichen Totalhoropter der bezüglichen Augenstellungen und zweitens demjenigen, welchen man erhalten würde, wenn man das eine Auge um seine Gesichtslinie um 180° gedreht hätte, wobei dann der Meridianhoropter derselbe bleiben, der cylindrische Partialhoropter aber ein andrer werden würde, weil das parallele entsprechende Strahlenpaar ein anderes wäre. (Ein besonderer Fall dieser Construction ist der, wo entsprechende Meridiane in der Blickebene liegen. Die gesuchte Curve sechsten Grades ist dann, nach Abzug der erwähnten zwei Geraden, der Durchschnitt der beiden Ebenen des Meridianhoropters einerseits mit dem kreisförmigen und dem gleichseitig hyperbolischen Cylinder anderseits, welche beide zur Blickebene senkrecht stehen und durch den Fixationspunkt und beide Kreuzungspunkte bestimmt sind: sie besteht demnach aus zwei zur Blickebene vertikalen Geraden und aus dem Kreise und der gleichseitigen Hyperbel, welche durch den Fixationspunkt und beide Kreuzungspunkte bestimmt sind.)

*) Unter Anderem kann man mit Benutzung der von HELMHOLTZ für den Meridianhoropter gegebenen Formel den Totalhoropter sehr leicht finden, wenn man durch die eine Durchschnittslinie des Meridianhoropters mit der zx Ebene (die der Formel $z = -x \sin\alpha \operatorname{cotg.} \frac{\gamma}{2}$ entspricht) und durch beide Knotenpunkte einen Kreiscylinder legt und seinen Durchschnitt mit dem Meridianhoropter entwickelt.

Nähe des Fixationspunktes einander nähern sollen, wie die Zweige einer Hyperbel, während, wie wir gesehen haben, die Horoptercurve nur aus einem Zweige besteht. Da jedoch diese Curve bei den praktisch in Betracht kommenden Augenstellungen zwei Stellen schrofferer Krümmung enthält, so könnte man meinen, HELMHOLTZ habe nur diese beiden Fragmente der Curve berücksichtigen wollen, weil etwa der übrige Theil keine praktische Bedeutung habe; aber erstens ist das letztere nicht der Fall, und jene Stellen schrofferer Krümmung liegen keineswegs immer in der Nähe des Fixationspunktes, zweitens wäre dann der Vergleich mit der Hyperbel ein unstatthafter und drittens hätte dann HELMHOLTZ analoger Weise nicht von einem Horopterkreise, sondern nur von einem Kreissegmente sprechen dürfen.

Der Name des berühmten Forschers wird es vor dem Leser entschuldigen, dass ich diesen Fehler seiner Rechnung so ausführlich erörtert habe.

Endlich habe ich noch der ganz kürzlich von VOLKMANN*) über den Horopter gemachten Angaben zu gedenken. VOLKMANN hat die zuerst von v. RECKLINGHAUSEN**) erwähnte Incongruenz in der Anordnung der correspondirenden Richtungslinien beider Augen näher untersucht und gefunden, dass wenn man beide Netzhäute übereinander legen wollte, so dass die horizontalen Trennungslinien sich deckten, die vertikalen Trennungslinien sich nicht decken, sondern unter einem Winkel von 1° 42″ (bei andern Beobachtern 1° 16″, 1°, 0° 56″) kreuzen würden; der Kreuzungswinkel der übrigen identischen Meridiane würde nach der horizontalen Trennungslinie hin continuirlich abnehmen. In Betreff der Parallelkreise nimmt VOLKMANN ohne weitere Untersuchung an, dass die einander geometrisch entsprechenden auch identische sind. Indess weist eine Beobachtung von v. RECKLINGHAUSEN darauf hin, dass auch dies nicht genau der Fall ist. Derselbe sah einen senkrecht zur Gesichtslinie gestellten Kreis in der Richtung von aussen und oben nach unten und innen zusammengedrückt, was

*) Centralblatt der medizin. Wissensch. 1863. Nr. 51 u. Physiol. Untersuch. im Gebiete der Optik. II. Heft. S. 239.

**) Archiv für Ophthalmol. V. Bd. II. Abth. Ich habe schon erwähnt, dass diese Incongruenzen in meinen Augen viel unbedeutender sind.

andeutet, dass nicht bloss der mittle Längsschnitt der Netzhaut (vertikale Trennungslinie), sondern auch die übrigen Längsschnitte die Querschnitte nicht genau unter einem rechten, sondern unter einem etwas abweichenden Winkel durchschneiden. Nehmen wir dies an, so lassen sich diese kleinen, übrigens, wie obige Zahlen beweisen, individuell gar sehr verschiedenen Abweichungen abermals auf ein einfaches Schema bringen, d. h. die beiden Richtungsliniensysteme stellen dann nach wie vor zwei projectivische Strahlbüschel im Raume dar, nur dass sie nicht mehr genau projectivisch gleich sind.

Die im Allgemeinen leicht übersichtlichen Abweichungen, welche in Folge dessen der Horopter erleidet, sind im Wesentlichen folgende: 1) Die Curve dritten Grades liegt im Allgemeinen auf einem elliptischen Cylinder; 2) an Stelle des Horopterkreises treten in den meisten Fällen Horopterellipsen, die wenig von der Kreisform abweichen, und die Gerade des Horopters steht nicht mehr senkrecht zur Ebene des Kreises oder der Ellipse, sondern weicht von der vertikalen Richtung beziehendlich von der Medianebene ab; 3) der Fall, dass der Horopter aus einer Geraden und einer Ellipse besteht, tritt nicht bloss bei symmetrischen, sondern auch bei gewissen unsymmetrischen Stellungen ein; 4) falls die horizontalen Trennungslinien bei symmetrischer Parallelstellung in der Blickebene liegen und also der gesammte Raum Querhoropter ist (siehe III. Heft §. 78), so besteht der Totalhoropter aus einer unterhalb der Blickebene und derselben parallel gelegenen Ebene (d. i. die eine Ebene des Längshoropters: siehe III. Heft §. 79) und der durch beide Kreuzungspunkte gehenden Geraden (Grundlinie).

Nimmt man aber mit Volkmann an, dass die geometrisch correspondirenden Parallelkreise genau identisch sind, so entzieht sich der Horopter aller schematischen Berechnung, weil die beiden Richtungslinienbüschel dann nicht mehr projectivische sind. Gleichwohl lässt sich auch dann noch leicht übersehen, dass die von Volkmann für gewisse einfachste Fälle gemachten Angaben unrichtig sind. Bei horizontal und parallel gradaus gestellten Gesichtslinien *) besteht dann der Horopter nicht, wie Volkmann meint, aus einem unendlich fernen Punkte, sondern aus einer in der Medianebene unterhalb der Blick-

*) wobei nach Volkmann die horizontalen Trennungslinien ein wenig zur Blickebene geneigt sind, wie ich dies schon früher angegeben habe.

ebene und letzterer parallelen Geraden (siehe III. Heft §. 79) und einer, praktisch nicht in Betracht kommenden, durch diese Gerade und beide Kreuzungspunkte gehenden, annähernd kreisförmigen Ellipse oder ähnlichen Curve, deren Ebene zu jener Geraden senkrecht steht. Auch dass der Horopter nie aus zwei Linien (z. B. Kreis und Gerader) bestehen könne, wie VOLKMANN angiebt, ist also unrichtig. Wenn z. B. bei symmetrischer Convergenz die horizontalen Trennungslinien in der Blickebene liegen, besteht der Horopter aus dem MÜLLER'schen Kreise und einer durch den Fixationspunkt gehenden, in der Medianebene liegenden Geraden, die allerdings nicht vertikal zur Blickebene liegt.

Aus alledem ist ersichtlich, dass es für jetzt noch nicht am Platze ist, auf jene kleinen, individuell verschiedenen und noch gar nicht erschöpfend untersuchten Incongruenzen in der Anordnung der correspondirenden Richtungslinien näher einzugehen; wie es auch für immer das zweckmässigste bleiben wird, den Horopter zuerst auf Grundlage des zeither üblichen Schema's zu studiren, um sodann die individuellen Correcturen anzubringen.

Von den normalen Augenbewegungen.

§. 107.

Listing's Gesetz.

Listing war bekanntlich der Erste, welcher für die Augenbewegungen ein allgemeines Gesetz aufstellt. Dasselbe lautet:

»Aus der normalen Stellung (Primärstellung) wird das Auge in irgend eine andre, secundäre, in der Weise versetzt, dass man sich diese Versetzung als das Resultat einer Drehung um eine bestimmte Drehungsaxe vorstellen kann, welche jederzeit, durch das Augencentrum gehend, auf der primären und der secundären Richtung der optischen Axe zugleich senkrecht steht.«

Dieses Gesetz schliesst also ein zweites Gesetz in sich ein oder setzt es voraus, nämlich das Gesetz der gleichen Lage bei gleicher Richtung, welchem zufolge mit jeder bestimmten Richtung oder Stellung der optischen Axe relativ zum Kopfe auch eine bestimmte Lage des Gesammtauges unabänderlich verknüpft ist, gleichviel auf welchem Wege die optische Axe in jene Stellung gelangt ist. Listing fügt hinzu:

»Unter den vielfachen Consequenzen dieses Principes verdient die hervorgehoben zu werden, dass nämlich das Auge beim Uebergange aus einer secundären Stellung in eine andere eine ihrer Grösse nach bestimmte Drehung um seine optische Axe erfährt, welche nur in dem besondern Falle Null ist, wenn die drei Richtungen der optischen Axe in der primären und in den beiden secundären Stellungen in einer Ebene liegen.«

Damit ist also zugleich gesagt: Wenn die optische Axe aus der Primärstellung geraden Weges d. h. unter Beschreibung einer Ebene in eine Secundärstellung bewegt wird, so geschieht dies um eine dauernde, zur optischen Axe rechtwinklige Axe. Soll aber die optische Axe aus einer Secundärstellung unter Beschreibung einer Ebene in eine andre Secundärstellung übergeführt werden, so

muss, ausser in den erwähnten besonderen Fällen, die Drehung um augenblickliche Axen erfolgen, d. h. das Auge muss zugleich eine Drehung um die optische Axe erfahren, weil anderswie zwar die optische Axe für sich in die neue Richtung, nicht aber zugleich das Gesammtauge in die entsprechende Lage gebracht werden könnte. Ganz allgemein gefasst heisst dies soviel: Ist aus einer Augenstellung die Drehung um dauernde, zur optischen Axe rechtwinklige Axen nach allen Seiten möglich, so ist das Nämliche aus allen andern Stellungen nicht möglich, wenn anders das Gesetz der gleichen Lage bei gleicher Richtung nicht verletzt werden soll.

LISTING selbst hat für sein Gesetz keinen experimentellen Beweis geliefert, doch ging aus späteren Untersuchungen von MEISSNER und FICK hervor, dass das LISTING'sche Gesetz, wenn auch durchaus nicht genau, so doch gewissermaassen in seinen gröbsten Zügen factisch durchgeführt sei*). Insbesondere stellte MEISSNER (Zeitschr. f. rat. Medic. III. Reihe, VIII. Bd. S. 38) zwei Gesetze für die (medialen und lateralen) Augenbewegungen auf, welche, wenn man sie zu einem Mittelergebniss vereinigt, annähernd dasselbe aussagen, wie das LISTING'sche Gesetz. Neuerdings endlich benützte HELMHOLTZ die zuerst von RUETE zur Untersuchung der Augenbewegung angewandten geradlinigen Nachbilder, um daraus einen klassischen Ver-

*) Nur WUNDT kam zu ganz entgegengesetzten Resultaten. Er sagt (Zeitschr. f. rat. Medic. XII. Bd. S. 179): »Bewegt sich das Auge nach innen (nasenwärts) und oben, so geschieht die Drehung so, dass das obere Ende des vorher vertikalen Meridianes der Netzhaut sich nach innen neigt; bewegt sich das Auge nach aussen (schläfenwärts) und oben, so erfährt derselbe Meridian umgekehrt eine Drehung nach aussen; geschieht die Bewegung nach innen und unten, so neigt sich der vertikale Meridian der Netzhaut gleichfalls mit seinem obern Ende nach aussen und geschieht endlich die Bewegung nach aussen und unten, so ist die Neigung des genannten Meridians wieder nach innen gerichtet.« Dieselben Angaben hat WUNDT später im Arch. für Ophthalm. (Bd. VIII. II. Abth. S. 77) gemacht und daselbst auch aus seinem Princip der Augenbewegung mit Hülfe vieler Rechnung theoretisch darzuthun versucht, dass die Augen sich so bewegen müssen, wie er es empirisch gefunden hat. Da nun factisch und ganz zweifellos ziemlich genau das directe Gegentheil von Dem gilt, was WUNDT gefunden hat, so kann man aus dieser Thatsache einen Schluss auf die Unrichtigkeit der theoretischen Deductionen und Rechnungen WUNDT's machen. Neuerdings hat überdies HELMHOLTZ aus dem WUNDT'schen Versuchsmateriale berechnet, dass dasselbe annähernd zum LISTING'schen Gesetze stimmt, also im Allgemeinen das Gegentheil von dem beweist, was WUNDT daraus ableitete.

such zum Beweise des LISTING'schen Gesetzes abzuleiten*). HELMHOLTZ giebt sogar an, dass die Bewegungen seiner Augen (sowie die eines zweiten Beobachters) »gar keine Abweichung von LISTING's Gesetze erkennen liessen«, und er glaubt dasselbe aus theoretischen Gründen für alle die Augen voraussetzen zu dürfen, deren Bewegungsfeld ein kreisförmiges ist: allein diese Angaben des geschätzten Forschers sind doch nur mit einiger Restriction aufzunehmen.

Denn erstens sind zwar die Nachbildversuche, ganz besonders in der von HELMHOLTZ gewählten Weise, zur vorläufigen Orientirung über den Modus der Augenbewegung im Grossen und Ganzen durchaus unschätzbar, aber die feinere Untersuchung muss von den Nachbildversuchen absehen, weil sie an Exactheit gewissen andern Methoden weit nachstehen. Ich selbst habe, nachdem ich experimentell die Fehlergrenzen der Nachbildversuche bestimmt hatte, diese Methode wieder verlassen müssen. Insbesondere bedenklich muss ich es finden, wenn die mit Nachbildern gewonnenen Resultate weiteren Untersuchungen über das Binocularsehen derart zu Grunde gelegt werden, dass man aus ihnen endgültige Schlüsse auf die relative Lage der identischen Meridiane macht, wie dies neuerdings SCHUURMANN gethan zu haben scheint (vergl. Mediz. Centralbl. 1864. Nr. 17). Nachdem mir der erwähnte HELMHOLTZ'sche Versuch bekannt geworden war, habe ich ihn mit allen Cautelen angestellt und auch für meine Augen die vollständigste Uebereinstimmung mit LISTING's Gesetze gefunden. Gleichwohl wusste ich bereits aus andern eigenen Versuchen, dass meine Augen sehr erhebliche Abweichungen von jenem Gesetze zeigen, welche durch die Ungenauigkeit der Nachbildmethode gänzlich verwischt wurden. Die strenge Gültigkeit des LISTING'schen Gesetzes scheint mir also HELMHOLTZ für seine Augen nicht nachgewiesen zu haben und sie lässt sich auch selbst durch die häufigste Wiederholung des Versuchs schon deshalb nicht nachweisen, weil der Versuch nicht gestattet, aus einer Versuchsreihe mittle Werthe zu berechnen und dadurch die Fehler auch nur einigermaassen zu eliminiren.

Zweitens kann ich mich mit HELMHOLTZ durchaus nicht einverstan-

*) Ich meine hiermit den im Archiv f. Ophthalm. IX. Bd. II. Abth. S. 181 u. ff. beschriebenen monocularen Versuch. Denn der S. 174 geschilderte binoculare Versuch ist nur von bedingtem Werthe.

den erklären, wenn er die Form des Bewegungsfeldes der Augen als bestimmend ansieht dafür, ob LISTING's Gesetz für dieselben gültig ist oder nicht, und daraus annimmt, dass ein kreisförmiges Bewegungsfeld auch im Allgemeinen die strenge Gültigkeit dieses Gesetzes erwarten lasse. Denn dies thut HELMHOLTZ, wenn er (l. c. S. 170) die (vermeintliche oder wirkliche) exacte Gültigkeit jenes Gesetzes für seine Augen daraus erklärt, dass ihr Bewegungsfeld sehr nahezu kreisförmig ist, und wenn er als wahrscheinlichen Grund der Abweichung in andern Augen eine abweichende Form des Bewegungsfeldes statuirt. Ich werde im Folgenden die theoretischen Betrachtungen zu widerlegen suchen, welche HELMHOLTZ zu dieser Ansicht gebracht haben und werde zeigen, wie unwesentlich die Form des Bewegungsfeldes für den optischen Nutzen des LISTING'schen Gesetzes ist.

Doch wolle man aus diesen Einwendungen nicht den Schluss ziehen, als könne ich die Trefflichkeit des HELMHOLTZ'schen Nachbildversuches verkennen; was die Nachbildmethode überhaupt leisten kann, das leistet er meiner Ansicht nach in einer überaus einfachen, anschaulichen und eleganten Weise. Es steht zu erwarten, dass dieser Versuch, der sich in längstens einer Stunde nach allen Richtungen erschöpfen lässt, sehr vielfach wiederholt werden wird, und dass also vielleicht die nächste Zeit zahlreiche Bestätigungen des LISTING'schen Gesetzes bringen wird. Dem gegenüber wollte ich schon jetzt darauf hinweisen, dass er keine exacten Resultate geben kann. In der Hand so geübter Forscher, wie HELMHOLTZ einer ist, können die Mängel des Versuches nicht so zu Tage treten, aber der minder Geübte wird dabei ziemlich erhebliche Abweichungen sicher übersehen.

Nachdem also durch diesen Versuch die annähernde Gültigkeit des LISTING'chen Gesetzes für die Augen mehrerer Beobachter schlagend dargethan ist, will ich mich nicht dabei aufhalten, neue Versuchsreihen nach anderen, wie ich glaube exacteren Methoden hinzuzufügen, sondern verschiebe dies bis dahin, wo ich den Antheil des einzelnen Muskels an den Augenbewegungen zu besprechen haben werde. Je exacter eine Untersuchung der Augenbewegungen ist, desto individueller sind ihre Ergebnisse; aber gerade dies ist nöthig, wenn der Beobachter diese Ergebnisse für gewisse anderweite Untersuchungen verwerthen will.

Dass jedoch LISTING's Gesetz für meine Augen keineswegs streng gültig ist, obwohl der erwähnte Versuch diese Gültigkeit auch für meine Augen vortäuscht, und dass die quasi Primärstellung meines Auges keineswegs, wie HELMHOLTZ a priori erwartet, in der Mitte des Spielraums ihrer Bewegung, sondern sehr excentrisch liegt, muss ich ausdrücklich betonen.

§. 108.

Grenzen der Brauchbarkeit des Nachbildversuchs von Helmholtz.

Bei der Untersuchung der Augenstellungen mittels geradliniger Nachbilder überzeugt man sich bald, dass exacte Bestimmungen mit ihnen nicht auszuführen sind. Fehler von mehreren Graden sind dabei sehr gewöhnlich. Obgleich mir dies längst bekannt war, überraschte es mich doch, dass, als ich den angeführten Versuch genau nach Vorschrift anstellte, derselbe eine vollständige Uebereinstimmung mit LISTING's Gesetz ergab, während ich, wie gesagt, bereits aus feineren Versuchen wusste, dass das Gesetz durchaus nicht genau für meine Augen gültig sei. Ich bestimmte deshalb die Grösse der bei diesem Versuche möglichen Fehler experimentell.

Auf einer Tischplatte (besser würde man eine Vertikalebene benutzen) wurde ein feiner vertikaler Drahtstift angebracht, welcher einer auf dem Tische liegenden grauen Pappscheibe als centrale Drehungsaxe diente. Auf der Scheibe war mit Tinte ein Durchmesser gezogen. Ueber diese Pappe wurde eine Pappscheibe gelegt, welche auf blauem Grunde einen linienbreiten-gelben Papierstreifen trug, der ebenfalls auf einem Durchmesser der Scheibe lag. Bei einem Abstande von etwa 10″ wurde nun der Mittelpunkt der obern Scheibe fest fixirt, während der stark vorwärts geneigte Kopf fest auf die Hand gestützt und das Auge in einer solchen Lage zur Scheibe war, dass der Drahtstift in totaler Verkürzung erschien, also die Gesichtslinie senkrecht zur Pappebene stand. Zugleich wurde das von HELMHOLTZ angegebene Visirzeichen benutzt. War auf diese Weise das Nachbild erzeugt, so liess ich die Pappe rasch abheben, fixirte nun den Mittelpunkt der untern Scheibe, controlirte mittels des Visirzeichens und der totalen Verkürzung des Drahtes die unveränderte Kopfstellung, und drehte die untere Scheibe so weit, bis die diametrale Linie genau im

Nachbilde zu liegen schien. Durch Zeichen am Rande der beiden Pappscheiben und auf dem Tische wurde dann controlirt, ob die Linie wirklich dieselbe Lage, wie zuvor das Nachbild, einnahm. Nach jedem Einzelversuche wurde die graue Pappe wieder stark aus der richtigen Lage herausgedreht. Es waren bei diesen Versuchen Fehler von 1^0 sehr gewöhnlich, Fehler von $1^0\ 30'$ nicht selten, der Ausnahmefälle nicht zu gedenken. Die Linie hatte also einen Spielraum von $2-3^0$, in welchem sie in derselben Lage erschien wie das Nachbild.

Hierauf wurde der Versuch so abgeändert, dass nur die farbige Pappe gerade vor dem Gesichte liegen blieb, während die graue auf einen weit seitwärts stehenden Drahtstift gesteckt wurde, um den sie drehbar war. Nun wurde wieder in beschriebener Weise das Nachbild erzeugt, sodann, ohne den Kopf zu verrücken, die Mitte der grauen Pappe fixirt, und die letztere soweit gedreht, bis die diametrale Linie genau im Nachbilde zu liegen schien. Dieser Versuch wurde bei ungeänderter Kopfstellung öfters wiederholt, wobei Visirzeichen und totale Verkürzung des Drahtes zur Controle der ungeänderten Kopfstellung dienten. Nach jedem Einzelversuche wurde die graue Pappe absichtlich wieder stark verdreht. Der Spielraum, innerhalb dessen die Linie bei der ganzen Versuchsreihe genau im Nachbilde zu liegen schien, betrug bei sehr excentrischer Stellung bis zu 5^0, was also mögliche Fehler von $2,5^0$ wahrscheinlich machte. Dass hier die Fehler grösser wurden, als beim ersten Versuche, erklärt sich aus der Schwierigkeit, die das Festhalten des Auges in sehr excentrischen Stellungen macht.

Da nun der Versuch von Helmholtz nicht gestattet, durch Berechnung mittler Werthe diese unvermeidlichen Fehler auch nur einigermaassen zu eliminiren, so folgt, dass Abweichungen von mehreren Graden leicht übersehen werden können.

Es ist sehr wohl möglich, dass längere Uebung etc. die Fehler verkleinert, daher ich nicht verlange, dass Jeder dieselben Fehlerweiten finden soll. Aber es ist wünschenswerth, dass Jeder, der den Helmholtz'schen Versuch anstellt, zunächst diese Fehlerweiten für sich bestimme, damit er weiss, in wie weit er sich auf das Ergebniss des Versuchs verlassen kann. Nicht besonders Geübte werden leicht noch viel grössere Fehler machen, als die oben angegebenen.

§. 109.

Eine wichtige Folge des Gesetzes der identischen Sehrichtungen.*)

Es ist für die richtigere Beurtheilung des Folgenden nöthig, das Gesetz der identischen Sehrichtungen von einer Seite zu beleuchten, auf die ich schon früher beiläufig hingewiesen habe, ohne sie jedoch ausführlich zu erörtern.

Bekanntlich liegen die horizontalen Trennungslinien, für welche HELMHOLTZ neulich den passenden Namen Netzhauthorizonte vorgeschlagen hat, nicht immer in der Blickebene. Das Gesetz der identischen Sehrichtungen besagt aber, dass Alles, was sich auf einem Netzhauthorizonte abbildet, in der Blickebene erscheint, gleichviel ob es wirklich in derselben liegt oder nicht, natürlich nur solange, als diese naturgemässeste Localisation nicht durch besondre Urtheilsgründe gestört wird. Schliessen wir daher letztere aus, so muss ein Irrthum über die Lage der in der Blickebene gelegenen Objecte entstehen, so oft nicht die Netzhauthorizonte, sondern andre Meridiane in der Blickebene liegen. Denn da hierbei die in der Blickebene liegenden Dinge sich nicht auf den Netzhauthorizonten abbilden, so können sie auch nicht in der Blickebene erscheinen.

Es ist bekannt, dass dies wirklich der Fall ist. Bringen wir z. B. einen Faden parallel dem Gesichte und demselben möglichst nahe in die horizontal gestellte Blickebene, während der Kopf stark nach vorn geneigt ist, und die Augen also relativ nach oben gedreht sind, so sehen wir bei symmetrischer Fixation des Fadens zwei sich im Fixationspunkte durchschneidende Fäden (das Doppelbild des rechten Auges steigt nach rechts an). Machen wir den analogen Versuch bei stark rückwärts geneigtem Kopfe, so sehen wir dasselbe (das Doppelbild des rechten Auges steigt nach links an). Es ist dies die bekannte Folge des Umstandes, dass bei den erwähnten Augenstellungen die Netzhauthorizonte beider Augen in entgegengesetzter Richtung zur Blickebene geneigt sind.

Es ist nun von vornherein zu erwarten, dass wenn man bei demselben Versuche das eine Auge schliesst, der Faden ebenfalls falsch

---

*) Eine übersichtliche Darstellung dieses im I. u. II. Hefte dieser Beiträge entwickelten Gesetzes habe ich neuerdings gegeben im Archiv für Physiologie von REICHERT und DU BOIS 1864. I. Heft S. 27 ff.

localisirt werden wird. Dies ist in der That der Fall. Man sorge irgendwie dafür, dass die Blickebene auch nach Schluss des einen Auges horizontal bleibt, d. h. dass der Kopf sich nicht seitwärts neigt*), halte vor das Gesicht einen Cylinder vom Durchmesser des Gesichts und etwa 5—6″ Länge, in dessen eine Oeffnung man das Gesicht bringt, während über die andre ein horizontaler, diametraler Faden gespannt ist: und man wird bei Fixation des durch einen Knoten angedeuteten Fadenmittelpunktes mit einem Auge den Faden nicht horizontal, sondern ganz in derselben Weise wie beim Doppelbildversuche geneigt sehen. Am schlagendsten ist der Versuch, wenn man einem Unbefangenen, der gut fixiren kann, die Aufgabe stellt, den Faden horizontal zu stellen, was sich sehr leicht machen lässt, wenn man den Cylinder in einen zweiten Cylinder steckt, in welchem er drehbar ist, oder wenn man statt des Fadens eine Linie mit markirtem Mittelpunkte auf einer drehbaren Scheibe benutzt. Der Beobachter wird bei den erwähnten Augenstellungen den Faden nie horizontal stellen, sondern zum Horizonte geneigt, entsprechend der Neigung des Netzhauthorizontes zum wirklichen Horizonte. Selbstverständlich muss alle Möglichkeit ausgeschlossen sein, sich durch andre sichtbare Dinge über die wirkliche Lage des Fadens zu orientiren. Wollte man z. B. den Versuch vor dem Fenster anstellen, so würde ein Horizontalschenkel des Fensterkreuzes, von dessen horizontaler Lage wir von vornherein überzeugt sind, den Versuch wesentlich stören.

Den analogen Versuch kann man sodann mit einem zur horizontalen Blickebene vertikalen Faden anstellen: es tritt auch hier die entsprechende Täuschung ein.

Die Täuschung ist so unausbleiblich, dass man sie zur Lagenbestimmung der Trennungslinien bei gewissen Augenstellungen benutzen kann**). Man lässt z. B. von der Versuchsperson den Faden bei einer und derselben Augenstellung, für deren unveränderte Beibehaltung durch anderweite Controle zu sorgen ist, zehn oder zwanzig Mal horizontal beziehendlich vertikal stellen, berechnet daraus, um die zufälli-

*) Es ist hierüber bekanntlich die genaueste Controle auch ohne Fixirung des Kopfes möglich.

**) Wie dies neuerdings von Volkmann geschehen.

gen Fehler möglichst zu eliminiren, das arithmetische Mittel, und aus diesem trigonometrisch die Lage der Trennungslinie. Aus besondren Gründen, die hier nicht zu erörtern sind, benutzt man hiezu passender die horizontalen Objectlinien, und ändert überhaupt den Versuch etwas ab. Die Methode ist ziemlich genau. Man sieht also, dass bei horizontaler Blickebene eine auf dem Netzhauthorizonte abgebildete Linie horizontal erscheint, gleichviel ob die Linie wirklich horizontal liegt oder nicht.

Wer sich mit dem Gesetze der identischen Sehrichtung vertraut gemacht hat und somit weiss, dass den Bildern jedes einzelnen identischen Meridianpaares eine ganz bestimmte Schnittebene des Sehraums entspricht, in welcher sie zur Anschauung kommen, gleichviel ob die entsprechenden Aussendinge drin liegen oder nicht, für den wird sich das Ergebniss des Versuchs von selbst verstehen. Für die Anhänger der Richtungslinientheorie oder gar für die Bekämpfer der Identität wird es überraschend sein. Haben sie sich doch bekanntlich noch nicht einmal mit der längstbekannten Thatsache auseinandergesetzt, dass bei den oben erwähnten Augenstellungen eine in der Blickebene liegende Linie keinem von beiden Augen in der Blickebene erscheint, obgleich sämmtliche Richtungslinien der Aussenlinie in der Blickebene liegen.

Meissner hat, soviel ich weiss, zuerst die Ansicht ausgesprochen, die schon in §. 106. erwähnte Thatsache, dass bei derselben Richtung der Gesichtslinie auch die Trennungslinien immer ein und dieselbe relative Lage zum Kopfe haben, finde ihre teleologische Erklärung darin (oder sei von optischem Nutzen dadurch), dass es durch ihre Hülfe möglich werde, sich bei jeder bestimmten Richtung des Auges über die horizontale und die vertikale Richtung der Aussendinge zu orientiren. Denn da bei einer jeden bestimmten Stellung der Gesichtslinie sich allemal eine fixirte horizontale (oder vertikale) Linie auf einem ganz bestimmten Meridian abbilde, lerne man mit der Zeit, dass dieser Meridian bei dieser bestimmten Stellung der Gesichtslinie der horizontalen (oder vertikalen) Richtung der Aussenwelt entspreche, so dass erst hierdurch möglich werde, die Dinge richtig zu localisiren.

Der obige Versuch, der sich hundertfältig variiren lässt, beweist, dass diese Ansicht falsch ist. Sie hatte auch von vornherein wenig Wahrscheinlichkeit für sich. Denn da wir, wie gesagt, z. B. bei binocularer Fixation einer in der horizontalen Blickebene liegenden horizontalen Linie die letztere doppelt in zwei zur Blickebene ge-

neigten, nicht horizontalen Bildern sehen, was MEISSNER selbst ausführlich erörtert hat, so lag hier sogleich ein Widerspruch gegen die aufgestellte Ansicht vor, den MEISSNER wohl bemerkte, aber nicht löste.

Vor Kurzem hat HELMHOLTZ (l. c.), wahrscheinlich verleitet durch die übliche Ansicht, dass die Visirlinien die Sehrichtungen seien, wie er dies in seiner physiologischen Optik annimmt, die Auffassung MEISSNER's wieder aufgenommen, und als »Princip der Orientirung bei den Ruhestellungen des Auges« zur Grundlage seiner theoretischen Erörterung der Augenbewegungen gemacht.

Gleichwohl hat HELMHOLTZ in derselben Abhandlung selbst einen interessanten Versuch angegeben, welcher mir sein Princip ebenfalls hinreichend zu widerlegen scheint.

Hält man den Kopf vertikal, und blickt mit einem Auge nach einer hochgelegenen Horizontallinie, z. B. einer Tapetenborde, so erscheint die Borde horizontal, falls sie sich auf dem Netzhauthorizonte abbildet, sie erscheint, mir wenigstens, nicht horizontal, wenn ihr Netzhautbild irgend erheblich von dem Netzhauthorizonte abweicht, obgleich die Ueberzeugung der wirklich horizontalen Lage der Borde die Täuschung nicht recht aufkommen lässt. Gleitet man nun aber mit dem Blicke langsam entlang dem Rande der Borde hin, ohne den Kopf dabei nach oben oder sonstwie zu verwenden, so erleidet das stark nach oben gerichtete Auge bei dieser Bewegung bekanntlich eine Drehung um die Gesichtslinie, so dass nacheinander verschiedene Netzhautmeridiane das Bild der horizontalen Aussenlinie aufnehmen. Die Folge ist, nach dem Gesetze der identischen Sehrichtungen, dass nun auch die Linie ihre scheinbare Lage ändern muss, und in der That sieht man, wie sie sich langsam umlegt. Denn da bei aufrechtem Kopfe jedem Netzhautmeridiane eine ganz bestimmte, von der Neigung des Netzhauthorizontes zum wirklichen Horizonte unabhängige Sehrichtungsebene entspricht, so muss die Linie eine scheinbare Drehung erleiden, wenn sich ihr Bild aus einem Meridian in den andern dreht. Den analogen Versuch kann man an einer tiefgelegenen Horizontalen mit stark nach unten geneigtem Auge, oder an einer seitwärts liegenden Vertikalen mit stark seitwärts gedrehtem Auge ausführen. Am bequemsten ist er bei Richtung des Auges nach aussen, weil hier weder die Nase noch der Orbitalrand stört.

Dies ist der wesentliche Inhalt des erwähnten Versuchs von HELMHOLTZ. Wie ihn HELMHOLTZ selbst angegeben hat, ist er zwar nicht minder interessant, aber aus mehreren Gründen unrein. HELMHOLTZ will ihn nämlich binocular angestellt wissen. Liegt dabei die Beobachtungslinie nicht sehr fern, so entstehen nothwendig Doppelbilder, die den Versuch sehr trüben. Zweitens ist es bei allen erheblich excentrischen Schrägstellungen nicht möglich, beide Gesichtslinien auf einen und denselben Punkt einzustellen, so dass auch aus diesem Grunde Doppelbilder auftreten, die sich selbst bei grosser Entfernung der Beobachtungslinie nicht vermeiden lassen.

HELMHOLTZ giebt an, dass bei der beschriebenen Blickbewegung die gerade Beobachtungslinie krumm erscheine. Ich sagte oben, sie erleide eine Scheinbewegung. Beides kommt auf dasselbe hinaus, und es hängt lediglich von der Geschwindigkeit der Blickbewegung ab, ob man das eine oder das andre sieht, aus naheliegenden Gründen. Der binoculare Versuch begünstigt zwar wegen verschiedener Nebenumstände die Scheinkrümmung, aber auch mit einem Auge sieht man dieselbe sehr deutlich, wenn man das Auge nicht zu langsam bewegt. Freilich aber bringt die schnellere Bewegung wieder den Uebelstand mit sich, dass die Gesichtslinie dabei nicht auf der Beobachtungslinie hingleitet, sondern einen oder mehrere Bogen beschreibt, wodurch der Versuch abermals getrübt wird.

Der beschriebene Versuch, dessen Ergebniss im vollsten Einklange mit dem Gesetze der identischen Sehrichtungen steht, beweist ebenfalls die Ungültigkeit des erwähnten Princips der Orientirung bei den Ruhestellungen, wie es MEISSNER und HELMHOLTZ aufgestellt haben. Denn wenn wir in jedem einzelnen Augenblicke der Bewegung wüssten, welcher Meridian eben der Horizontalrichtung entspricht, so würden wir die horizontale Beobachtungslinie in jedem Augenblicke der Bewegung dieser Kenntniss gemäss localisiren, d. h. sie horizontal sehen, und es könnte demnach weder eine Scheinbewegung noch eine Scheinkrümmung auftreten *).

---

*) Eines der nächsten Hefte von REICHERT und DU BOIS' Archiv f. Physiologie wird eine ausführliche, schon früher geschriebene Widerlegung dieses angeblichen Princips der Augenbewegungen bringen.

§. 110.

Das Princip der einfachsten Innervation.

Wir pflegen unter Richtung des Auges die Lage seiner Gesichtslinie relativ zum Kopfe zu verstehen. Bei derselben Stellung der Gesichtslinie aber lässt sich das Gesammtauge in sehr verschiedener Lage denken, insofern man es um die Gesichtslinie als Axe gedreht denken kann. Das obige Princip fordert nun, wie wir sehen werden, dass bei einer bestimmten Lage der Gesichtslinie auch das übrige Auge stets eine und dieselbe Lage habe, gleichviel auf welchem Wege die Gesichtslinie in ihre Stellung gekommen ist; mit andern Worten, das Princip fordert das schon in §. 107. erwähnte Gesetz der gleichen Lage bei gleicher Richtung.

Denken wir uns, es wäre bei derselben Richtung der Gesichtslinie eine verschiedene Lage des Gesammtauges möglich, so würden auch die einzelnen Augenmuskeln jedesmal eine andre Lage und Spannung haben. Denn der Befestigungspunkt eines Muskels am Auge würde relativ zu seinem Ansatzpunkte an der Orbita jedesmal eine andre Lage einnehmen. Daraus würde folgen, dass wenn wir die Gesichtslinie aus der Stellung *a* in eine bestimmte Stellung *b* bewegen wollten, wir das eine Mal die, das andre Mal jene Muskeln innerviren müssten, oder, wenn die Bewegung beide Male mit denselben Muskeln ausführbar wäre, wenigstens die Arbeit in jedem Falle in verschiedener Weise auf die bezüglichen Muskeln vertheilen müssten. Um dies aber möglich zu machen, müsste nothwendig nicht nur die Stellung der Gesichtslinie sondern auch die jedesmalige Lage des Gesammtauges d. h. die Raddrehung, dem Sensorium bekannt sein. Dass Letzteres nicht der Fall ist, habe ich in §. 109. hinreichend dargethan. Wenn nun das Sensorium nur von der Richtung und nicht zugleich von der Gesammtlage des Auges Kenntniss hat, so wird es auch, um die Gesichtslinie aus der Stellung *a* in die Stellung *b* zu bringen, stets dieselben Muskeln und in derselben Weise innerviren. Hätte also das Auge bei der Richtung *a* einmal diese einmal jene Gesammtlage, so würde eine und dieselbe Innervation einmal diese einmal jene Bewegung zur Folge haben, d. h. das Sensorium würde die Bewegungen des Auges nicht beherrschen können.

Ich habe hier also die Nothwendigkeit der gleichen Lage bei gleicher Richtung aus der empirisch festgestellten Thatsache deducirt, dass das Sensorium keine Mittheilungen über die jeweilige Raddrehung des Auges erhält. Letzteres aber lässt sich wieder mit Nothwendigkeit theoretisch aus der Identität deduciren; denn wenn einmal die identischen Sehrichtungen eine Thatsache sind, so versteht sich von selbst, dass die Kenntniss der jeweiligen Raddrehung und demgemässe Auslegung der Netzhautbilder beim binocularen Sehen ganz undenkbar ist, wie dies aus §. 109. zweifellos hervorgeht.

Wollten wir selbst ohne Rücksicht auf das factische Gesetz der Sehrichtungen, also ganz a priori annehmen, die Raddrehung d. h. die jedesmalige Gesammtlage des Auges könne dem Sensorium in jedem Augenblick zur Kenntniss gebracht werden, wie unendlich viel complicirter und schwieriger würde gleichwohl die Augenbewegung werden, wenn bei derselben Stellung der Gesichtslinie das übrige Auge einmal diese einmal jene Lage einnehmen könnte. Denn der einzelne Muskel müsste zum Zwecke einer und derselben Ortsänderung des Fixationspunktes für jeden einzelnen Fall in einer ganz besondern Weise innervirt werden, weil selbst geringe Unterschiede der Raddrehung sehr wesentliche Lageänderungen der Augenmuskeln zur Folge haben müssten. Diese Betrachtung ist jedoch eine müssige, weil weder die Raddrehung für sich unserm Willen unterliegt, noch ein Muskelsinn existirt. — Es ist bekannt, dass, sofern man von den sehr excentrischen Augenstellungen absieht, das hier theoretisch entwickelte Princip factisch erfüllt, und also das Gesetz der gleichen Lage bei gleicher Richtung im Wesentlichen gültig ist.

Fick hat für dieses Gesetz und somit für die Gesetze der Augenbewegungen überhaupt das Princip der kleinsten Muskelarbeit als allein oder vorzugsweise bestimmend angesehen. Nach diesem Principe darf man im Allgemeinen annehmen, dass die Leistung einer eingeübten Bewegung derart auf die bezüglichen Muskeln vertheilt wird, dass der möglichst geringe Kraftaufwand nöthig wird. Das Princip selbst lasse ich natürlich gelten, und Fick hat das Verdienst, dieses ganz allgemein gültige Princip für unsern speciellen Fall zuerst bedacht zu haben. Aber man darf aus diesem Principe nicht Beschränkungen der Motilität, wie sie das Auge zeigt, erklären wollen. Denn das Princip der kleinsten Muskelarbeit

ist nicht bestimmend für die Motilität an sich, sondern nur dafür, wie die aus andern Gründen nöthige Motilität von der Muskulatur durchgeführt wird. Sagt man, das Auge sei bei einer bestimmten Richtung auf eine einzige bestimmte Gesammtlage darum beschränkt, weil gerade diese die mindeste Muskelkraft erfordere, so heisst dies der Natur eine übel angebrachte Sparsamkeit imputiren. Ebenso könnte man aus diesem Principe ableiten wollen, der Arm müsste, wenn er in einer bestimmten Richtung gehalten wird, auch immer dieselbe Pronation oder Supination zeigen und zwar diejenige, welche den geringsten Aufwand von Muskelarbeit erfordere. Wäre der Natur unsers Organismus eine verschiedene Gesammtlage des Auges bei einer und derselben Richtung ebenso gemäss gewesen, wie ihr die verschiedene Pronation und Supination bei derselben Richtung des Armes gemäss ist, so würden jene verschiedenen Raddrehungen eben auch nach dem Principe der kleinsten Muskelarbeit hergestellt worden sein, ebenso wie die Pronation und Supination und überhaupt jede eingeübte Bewegung schliesslich nach diesem Principe hergestellt wird. Daher scheint mir HELMHOLTZ sehr mit Recht darauf hingewiesen zu haben, »dass, selbst wenn sich das Princip der kleinsten Anstrengung für die Augenbewegung als vollständig anwendbar erweisen sollte«, (woran ich meinerseits nicht zweifle) »daraus noch nicht folgen würde, dass nicht ein anderes Princip das eigentlich entscheidende sei.«

Man wird nicht einwenden dürfen, dass auch die Realisirung des Princips der einfachsten Innervation als eine übel angebrachte Sparsamkeit angesehen werden könne; denn das Wesen dieses Principes liegt nicht in irgendwelcher Ersparniss, sondern in der Erleichterung der Orientirung mittels der Augenbewegung, und um diese Orientirung muss es sich doch selbstverständlich bei einem Organ der räumlichen Wahrnehmung vorzugsweise handeln.

§. 111.

Das Princip des grössten Horopters.

Man kann sich denken, die Augen würden so bewegt, dass immer die Summe der Aussenpunkte, welche sich auf Deckstellen abbilden die grösstmögliche sei. MEISSNER*) hat diesen Gedanken bereits

*) Beitr. zur Physiol. des Sehorgans. 1854.

erörtert, aber seine irrigen Ansichten über den Horopter liessen ihn Werth und Grenzen der Forderung des grössten Horopters nicht gehörig beurtheilen.

Zunächst fordert das Princip, dass immer auf den beiden Netzhautmitten derselbe Aussenpunkt abgebildet sei, d. h., dass die Gesichtslinien sich stets durchschneiden. Dieser wichtigsten Forderung des Princips ist wie bekannt im Wesentlichen genügt. Nur bei den sehr excentrischen Schrägstellungen der Augen d. h. also z. B. nach oben und rechts oder links etc. bleiben die Gesichtslinien durchaus nicht in einer Ebene, können sich also auch nicht schneiden.

Was nun die übrigen Netzhautstellen betrifft, so ist zunächst zu bemerken, dass die Durchführung des Principes nur dann von besonderem Nutzen sein kann, wenn sich die Augen mit fernen Dingen beschäftigen, denn nur für ferne Dinge sind beide Netzhautbilder annähernd oder völlig congruent. Die nahen Dinge geben nach dem Gesetze der Perspective bekanntlich im Allgemeinen incongruente Netzhautbilder, und es würde uns also, selbst wenn der Horopter der convergirenden Augenstellungen ohne Raddrehung eine Ebene wäre (wie Meissner wähnte), damit verhältnissmässig wenig gedient sein, weil die Aussendinge meist körperlich sind, und also immerhin nur theilweise im Horopter liegen könnten, und weil selbst die ebenen Objecte immer erst in die besondere Horopterebene gebracht werden müssten. Nun ist aber der Horopter aller nicht parallelen Augenstellungen nur eine Linie, wodurch die Bedeutung des obigen Principes für die Convergenzstellungen noch geringer wird, da nur ein sehr kleiner Theil der Objecte in den Horopter gebracht werden kann. Dazu kommt endlich noch, dass gerade die nicht identische Lage der Bilder eines Aussendinges uns grosse Vortheile dadurch gewährt, dass sie in uns die Vorstellung der Körperlichkeit des Gesehenen, d. h. den stereoskopischen Eindruck hervorruft.

Dagegen ist für das Fernsehen das Princip des grössten Horopters allerdings sehr wesentlich. Denn da die sehr fernen Dinge keine verschiedenen Netzhautbilder liefern, d. h. der binoculare stereoskopische Effect für solche Dinge überhaupt nicht erzielt werden kann, so ist es auch a priori sehr wünschenswerth, dass die congruenten Bilder nun auch eine identische Lage auf der Netzhaut einnehmen. Es ist eine alte Annahme, dass dies wirklich der Fall sei, d. h. dass

bei allen Parallelstellungen auch alle identischen Meridiane parallel seien. Prüfen wir jetzt diese Annahme experimentell.

Auf einer weissen Vertikalebene sind zwei zur Ebene vertikale feine Stahlnadeln horizontal neben einander in der genauen Distanz der beiden mittlern Knotenpunkte so angebracht, dass die Spitzen der Nadeln nach dem Gesichte sehen. Zwei vertikale Fäden oder Striche werden auf der weissen Ebene so gelegt, dass der eine einen directen Abstand von $\frac{1}{2}$ - 1‴ nach rechts von der rechten Nadel, der andre denselben Abstand nach links von der linken Nadel hat. Man stellt nun seine Augen, bei aufrechtem Kopfe und horizontaler Blickebene, den Nadeln so gegenüber, dass jedes Auge für sich die Nadel seiner Seite total verkürzt, d. h. als Punkt sieht, dass also die Augen parallel stehen und beide Nadeln (abgesehen von den excentrischen Doppelbildern) als ein Punkt erscheinen, den man als imaginären Fixationspunkt festhält. Die beiden vertikalen Fäden oder Striche erscheinen mir nun neben einander, aber nicht parallel, sondern schwach nach oben convergirend. (Die nach links und rechts liegenden Doppelbilder kommen nicht in Betracht). Daraus folgt, dass die vertikalen Trennungslinien bei dieser Augenstellung nicht streng parallel liegen, sondern etwas nach oben divergiren.

Selbstverständlich hat Jeder den Versuch so zu arrangiren, wie es den Refractionsverhältnissen seiner Augen am angemessensten ist. Ich selbst bin mässig kurzsichtig, kann mich also ziemlich feiner Nadeln und Striche bedienen und ohne Brille die Augen der Ebene auf 2′ nahe bringen.

Dieser von mir schon früher*) beschriebene Versuch ist von HELMHOLTZ**) und VOLKMANN***) mit demselben Erfolge wiederholt worden.

Bringe ich, statt der vertikalen, zwei horizontale Striche so an, dass z. B. der eine $\frac{1}{2}$—1 Linie über der linken, der andre um ebensoviel unter der rechten Nadel liegt, indess jeder seine Nadel nicht ganz um die halbe Nadeldistanz nach rechts und links überragt, so erscheinen die beiden Striche, sobald die Augen wieder in der

*) III. Heft. S. 175.

**) Archiv f. Ophthalmol. IX. II. S. 189.

***) Physiol. Untersuchungen im Gebiete der Optik. II. Heft §. 89.

beschriebenen Weise parallel stehen, übereinander, aber gleichfalls nicht parallel sondern nach rechts convergirend*).

Meine Augen zeigen also, wenn sie horizontal und parallel geradaus sehen, eine geringe Raddrehung gegeneinander, d. h. keine zwei identische Meridiane liegen parallel. Diese Abweichung ist jedoch so unbedeutend, dass sie praktisch nicht in Betracht kommt, und daher nur als ein unwesentlicher Verstoss gegen das Princip des grössten Horopters anzusehen ist.

Um nun die übrigen Parallelstellungen in ähnlicher Weise zu untersuchen, macht man auf eine ebene weisse Pappe zwei schwarze Marken von der Distanz der mittlern Knotenpunkte und lässt die Pappe neben den Nadeln so an die Vertikalebene halten, dass die beiden Marken und die beiden Nadeln in einer Horizontalen liegen. Zwei vertikale Striche sind auf der Pappe genau in derselben Weise angebracht, wie die Fäden neben den Nadeln. Stellt man sich nun mit aufrechtem oder beliebig nach vorn oder hinten geneigtem Kopfe so vor die Nadeln, dass sie in totaler Verkürzung erscheinen und blickt dann, ohne den Kopf zu verrücken, und immer mit parallelen Gesichtslinien seitwärts nach den beiden Marken, so sieht man beide Marken ebenfalls als eine und zu beiden Seiten derselben die Vertikalstriche mehr oder minder convergirend, je nach der Neigung des Kopfes zum Horizont, d. h. also je nach der Lage der Blickebene relativ zum Kopfe und je nach der Seitwärtsdrehung der Augen. Der Gehülfe schiebt die Pappe beliebig seitwärts, bringt sie nach rechts oder links, immer darauf achtend, dass beide Marken in der horizontalen Blickebene bleiben, was durch horizontale Falze, in denen die Pappe sich verschiebt, oder horizontale Linien leicht controlirt wird. Zur Controle dafür, dass bei den Seitwärtsdrehungen der Augen die Blickebene ihre relative Lage zum Kopfe nicht ändert, benütze ich eine auf die Stirn geklebte Scala verschiedenfarbiger oder sonstwie unterscheidbarer Horizontallinien und ein kleines Spiegelchen auf der

---

*) VOLKMANN hat die Convergenzen gemessen (s. o.) und gefunden, dass der Convergenzwinkel für vertikale und horizontale Linien nicht derselbe ist, was entweder auf Unregelmässigkeit der brechenden Medien oder auf incongruente Anordnung der Deckstellen hinweist. HELMHOLTZ machte (s. o.) eine ähnliche Bemerkung. Bei mir ist diese Abweichung unbedeutend. Vergl. meine »Bemerkungen zu VOLKMANN's neuen Untersuchungen über das Binokularsehen« REICHERT und DU BOIS Archiv f. Physiol. 1864. (Noch nicht erschienen).

Vertikalebene, da angebracht, wo es am mindesten stört. Bei diesen Versuchen bemerkt man sogleich, dass der Convergenzwinkel der beiden Linienbilder bei verschiedenen Augenstellungen ein verschiedener ist, d. h. also, dass die identischen Meridiane der beiden Netzhäute bei verschiedener Parallelstellung in verschiedenem, jedoch nie sehr erheblichen Grade von der parallelen Lage abweichen. Das Princip des grössten Horopters ist also bei den Parallelstellungen, für welche es vorzugsweise in Betracht kommt, nicht exact, doch aber sehr annähernd und in praktischer Hinsicht genügend erfüllt.

Die Abweichungen sind am bedeutendsten bei den schräg nach oben gerichteten Augenstellungen. Nebenbei lehren diese Versuche, dass es mit wachsender Excentricität der schrägen Augenstellungen immer schwieriger wird, die Gesichtslinien in einer Ebene zu erhalten, und dass, wie schon bekannt ist, der Parallelismus der Gesichtslinien um so schwieriger einzuhalten ist, je mehr sich die Blickebene relativ zum Kopfe nach unten neigt. Man sieht, dass die Versuche keinen Aufschluss geben über die Lage der vertikalen Meridiane relativ zum Kopfe, sondern nur über die Abweichung vom Parallelismus. Für diesen Zweck aber gestattet die Methode, sorgfältig ausgeführt, sehr genaue Resultate. Absolute Maasse sind hierbei nicht nöthig; ich gebe solche später. Ein kleiner Fehler entsteht dadurch, dass der Drehpunkt des Auges nicht auf der Gesichtslinie liegt.

§. 112.

Das Princip der vermiedenen Scheinbewegung.

Fixiren wir irgend einen Punkt z. B. auf einer Ebene und bewegt sich dabei ein andrer Punkt auf dieser Ebene hin, so entspricht das Bild, welches wir uns von der Bahn dieser Bewegung machen, dem Bilde derjenigen geraden oder krummen Linie, welche der Punkt durchlaufen hat, d. h. eine Linie von der Form und Lage jener Bahn würde uns dieselbe räumliche Vorstellung erwecken. Bewegt sich z. B. der Punkt geradlinig durch den Fixationspunkt hindurch, läuft also sein Netzhautbild auf einem Netzhautmeridiane hin, so nehmen wir eine geradlinige Bewegung des Punktes wahr; nimmt er aber auf der Ebene einen krummen, durch den Fixationspunkt gehenden Weg, und beschreibt sein Bild demnach auf der Netzhaut eine nicht meridionale krumme Bahn, so nehmen wir eine entsprechende krummlinige Bewegung des Aussenpunkts wahr. Wird unser Auge unwillkürlich bewegt (Krampf, Schwindelbewegung, Fingerdruck), und verschiebt

beschriebenen Weise parallel stehen, übereinander,
nicht parallel sondern nach rechts convergirend*).

Meine Augen zeigen also, wenn sie horizontal
aus sehen, eine geringe Raddrehung gegeneinan
identische Meridiane liegen parallel. Diese
so unbedeutend, dass sie praktisch nich
und daher nur als ein unwesentl
das Princip des grössten Horop

Um nun die übrigen Parallelste
untersuchen, macht man auf eine
Marken von der Distanz der mi
Pappe neben den Nadeln so a ... ionale
beiden Marken und die beide ... n besproche-
Zwei vertikale Striche sind ... wegung der beiden
angebracht, wie die Fäd ... gung willkürlich ist
mit aufrechtem oder bel ... bewegung der willkürlichen
so vor die Nadeln, d ... entspricht, so beziehen wir die
blickt dann, ohne d ... der nicht auf eine Bewegung der
Gesichtslinien sei ... auf die Ortsveränderung unsers Blickes.
Marken ebenfal ... er das Verhältniss sein, wenn bei derselben
striche mehr o ... ckes entlang der geraden Linie von a nach b,
fes zum Ho ... nkte auf der Netzhaut nicht die gerade meridio-
zum Kop ... ie beliebige nicht meridionale krumme Bahn be-
hülfe sc ... ährend wir uns bewusst sind, mit unserm Blicke gerad-
links ... entlang einer Geraden fortzuschreiten, beschreiben die
Bli ... unkte a und b auf der Netzhaut krumme nicht meridio-
si ... die an sich die Vorstellung einer krummen Bewe-
... Aussenpunkte erwecken müssen. Dem entspricht also
... geradlinige Bewegung des Blickes, und wir werden folg-
... Theil (die Componente) der Bewegung, welcher von uns
... beabsichtigt war, auf eine Bewegung der Aussenpunkte bezie-
... d. h. es wird eine Scheinbewegung der Punkte a und b ein-
... müssen.

Damit also derlei Scheinbewegungen vermieden würden, müsste
das Auge stets so bewegt werden, dass wenn der Blick (die Gesichts-
... geraden Wegs von einem Punkte zum andern fortschreitet,
... in und derselbe Netzhautmeridian die Bilder der beiden

‑ige, d. h. also, dass während der Bewegung ein
‑meridian in derjenigen Ebene bliebe, welche
‑ewegung beschreibt. Sollte aber dies immer
‑las Auge stets so drehen, dass die Dre-
‑ler von der Gesichtslinie beschriebe-
‑ze müsste bei geradliniger
‑ne Drehung um die Ge-
n.

‑liniger Bewegung
‑. sind entspre-
‑ndinge zu erwar-
parallel einem Meridian
‑en, sondern krumme Bahnen
‑ gleichwohl in gerader Richtung
‑chiebung der Bilder der beabsichtigten
‑icht.

‑e Raddrehung wird der Einklang zwi-
‑Wahrnehmungen des ruhenden und des be-
‑n Auges zerstört. Bewegt sich z. B. der Blick entlang
‑er geraden Reihe von Punkten und es verschieben sich dabei alle Einzelpunkte des Reihenbildes in einer und derselben Bahn, d. h. auf dem Netzhautmeridiane, der das Bild der Punktreihe beim Anfang der Bewegung trägt, schiebt sich also gleichsam das Reihenbild in sich selbst fort, so muss uns während der Blickbewegung auch die Reihe unverändert ihre Richtung zu bewahren scheinen. Erfolgt aber während der Bewegung eine Raddrehung, dreht sich demnach, während der Blick geradlinig mit einer gewissen Geschwindigkeit entlang der Reihe hingleitet, die letztere stetig aus einem Netzhautmeridian in den andern, so beschreiben alle einzelnen Punkte des Reihenbildes krumme Bahnen auf der Netzhaut, die uns die Vorstellung einer krummen Linie erwecken, während doch, so oft das Auge still hält, die Reihe wieder ein (so zu sagen) gerades Bild giebt und demnach gerade erscheint. Während also bei Fixirung eines beliebigen Punktes der Reihe die Netzhaut von derselben ein (so zu sagen) gerades Bild erhält, bekommt sie gleichwohl beim Wechsel der Fixationspunkte, d. h. während der Bewegung des Blickes entlang der Reihe, krumme Bahnbilder, und es tritt somit eine Disharmonie ein zwischen den

sich dabei das Bild der Aussendinge auf der Netzhaut, so entsteht eine Scheinbewegung der Aussendinge, und zwar eine geradlinige, wenn sich das Netzhautbild in der Richtung eines Meridianes und somit alle Bildpunkte sich parallel einem Meridian, beziehendlich auf einem solchen verschieben; es entsteht eine krummlinige Scheinbewegung, wenn das Netzhautbild sich anderswie verschiebt.

Es verhält sich also die Bahn eines Bildpunktes auf der Netzhaut für die räumliche Wahrnehmung ganz gleich dem Bilde einer Linie von der Form jener Bahn.

Bewegen wir unsern Blick entlang einer geraden Linie vom Punkte *a* nach dem Punkte *b*, und beschreiben die Bilder der beiden Punkte während dieser Bewegung eine gerade, d. h. hier meridionale Bahn auf der Netzhaut, so würde nach Analogie der eben besprochenen Fälle eine entsprechende geradlinige Scheinbewegung der beiden Punkte eintreten müssen; da aber die Bewegung willkürlich ist und da die erwähnte geradlinige Scheinbewegung der willkürlichen geradlinigen Bewegung des Blickes entspricht, so beziehen wir die Verschiebung der Netzhautbilder nicht auf eine Bewegung der Aussenpunkte, sondern auf die Ortsveränderung unsers Blickes. Ganz anders muss aber das Verhältniss sein, wenn bei derselben Bewegung des Blickes entlang der geraden Linie von *a* nach *b*, die Bilder dieser Punkte auf der Netzhaut nicht die gerade meridionale, sondern eine beliebige nicht meridionale krumme Bahn beschreiben. Während wir uns bewusst sind, mit unserm Blicke geradlinig d. h. entlang einer Geraden fortzuschreiten, beschreiben die Bilder der Punkte *a* und *b* auf der Netzhaut krumme nicht meridionale Bahnen, die an sich die Vorstellung einer krummen Bewegung der Aussenpunkte erwecken müssen. Dem entspricht also nicht die geradlinige Bewegung des Blickes, und wir werden folglich den Theil (die Componente) der Bewegung, welcher von uns nicht beabsichtigt war, auf eine Bewegung der Aussenpunkte beziehen, d. h. es wird eine Scheinbewegung der Punkte *a* und *b* eintreten müssen.

Damit also derlei Scheinbewegungen vermieden würden, müsste das Auge stets so bewegt werden, dass wenn der Blick (die Gesichtslinie) geraden Wegs von einem Punkte zum andern fortschreitet, immer ein und derselbe Netzhautmeridian die Bilder der beiden

Punkte *a* und *b* trüge, d. h. also, dass während der Bewegung ein und derselbe Netzhautmeridian in derjenigen Ebene bliebe, welche die Gesichtslinie bei der Bewegung beschreibt. Sollte aber dies immer der Fall sein, so müsste sich das Auge stets so drehen, dass die Drehungsaxe senkrecht stände zu der von der Gesichtslinie beschriebenen Ebene, kurz gesagt, das Auge müsste bei geradliniger Bewegung des Blickes nie eine Drehung um die Gesichtslinie (Raddrehung) erleiden.

So oft also das Auge bei geradliniger Bewegung des Blickes eine Raddrehung erleidet, sind entsprechende Scheinbewegungen der Aussendinge zu erwarten, weil die Netzhautbilder sich nicht parallel einem Meridian beziehendlich in ihm selbst verschieben, sondern krumme Bahnen beschreiben, während der Blick gleichwohl in gerader Richtung fortschreitet, also die Verschiebung der Bilder der beabsichtigten Bewegung nicht entspricht.

Durch jede Raddrehung wird der Einklang zwischen den Wahrnehmungen des ruhenden und des bewegten Auges zerstört. Bewegt sich z. B. der Blick entlang einer geraden Reihe von Punkten und es verschieben sich dabei alle Einzelpunkte des Reihenbildes in einer und derselben Bahn, d. h. auf dem Netzhautmeridiane, der das Bild der Punktreihe beim Anfang der Bewegung trägt, schiebt sich also gleichsam das Reihenbild in sich selbst fort, so muss uns während der Blickbewegung auch die Reihe unverändert ihre Richtung zu bewahren scheinen. Erfolgt aber während der Bewegung eine Raddrehung, dreht sich demnach, während der Blick geradlinig mit einer gewissen Geschwindigkeit entlang der Reihe hingleitet, die letztere stetig aus einem Netzhautmeridian in den andern, so beschreiben alle einzelnen Punkte des Reihenbildes krumme Bahnen auf der Netzhaut, die uns die Vorstellung einer krummen Linie erwecken, während doch, so oft das Auge still hält, die Reihe wieder ein (so zu sagen) gerades Bild giebt und demnach gerade erscheint. Während also bei Fixirung eines beliebigen Punktes der Reihe die Netzhaut von derselben ein (so zu sagen) gerades Bild erhält, bekommt sie gleichwohl beim Wechsel der Fixationspunkte, d. h. während der Bewegung des Blickes entlang der Reihe, krumme Bahnbilder, und es tritt somit eine Disharmonie ein zwischen den

Eindrücken, die der auf der Reihe ruhende Blick erhält im Vergleich zu denen, welche der auf der Reihe bewegte empfängt.

Endlich lässt sich die Forderung der vermiedenen Raddrehung auch aus dem Gesetze der Sehrichtungen ableiten. Dasselbe lehrt u. A., dass Alles, was sich bei aufrechtem Kopfe auf den horizontalen Trennungslinien abbildet, in der jeweiligen Blickebene erscheint, gleichviel ob die horizontalen Trennungslinien in dieser Ebene liegen oder nicht. Liegt also zunächst die horizontale Trennungslinie in der Blickebene, und bewegen wir sodann unsern Blick entlang einer in der Blickebene liegenden Geraden, während zugleich das Auge eine Raddrehung erleidet, so treten während der Bewegung immer andre Netzhautmeridiane in die Blickebene und entsprechend fällt auch das Bild der Geraden auf immer andre Meridiane, deren Sehrichtungen nicht in der Blickebene liegen. Demnach muss die Linie scheinbar die Blickebene verlassen, d. h. es muss eine scheinbare Drehung der Linie eintreten, was denn auch in der That der Fall ist.

Es liegt auf der Hand, dass Alles, was ich hier von geraden Aussenlinien besprochen habe, auch von beliebig krummen gilt, insofern dieselben für das bewegte Auge als aus zahlreichen geradlinigen Einzeltheilchen zusammengesetzt anzusehen sind.

Nehmen wir an, das Listing'sche Gesetz sei in voller Strenge gültig, und setzen wir an Stelle der optischen Axen die Gesichtslinien, die ja Listing noch nicht von der optischen Axe unterschied, lassen wir also zugleich den Drehpunkt des Auges auf der Gesichtslinie liegen, so würde das Princip der vermiedenen Scheinbewegung in voller Strenge erfüllt sein, so oft die Gesichtslinie aus der Primärstellung geraden Wegs in eine beliebige Secundärstellung (oder umgekehrt) bewegt wird, oder wenn sie aus einer Secundärstellung in eine so gelegene andre Secundärstellung übergeführt wird, dass die fortgesetzte oder entgegengesetzte Bewegung um dieselbe Axe das Auge in die Primärstellung bringen könnte. Was aber die übrigen Bewegungen der Gesichtslinie geradenwegs aus einer Secundärstellung in die andre betrifft, so hat schon Listing (s. o.) angegeben, dass alle diese Bewegungen um veränderliche Axen, d. h. also mit Raddrehung, erfolgen müssten.

Gleichwohl würden alle diese Abweichungen vom Principe der vermiedenen Scheinbewegung, auch wenn wir einmal die strenge Gül-

tigkeit jenes Gesetzes annehmen wollten, für das Sehen aus folgenden Gründen ziemlich unwesentlich sein:

1) So lange die Raddrehung unter einer gewissen Grösse bleibt, kommt sie gar nicht in Betracht, weil die (nicht beabsichtigte) Verschiebung der Netzhautbilder zu langsam ist, um als Scheinbewegung oder Verzerrung wahrgenommen zu werden, gerade so wie wir die Bewegung eines Minutenzeigers nicht als solche wahrnehmen.

2) Es nehmen zwar die Raddrehungen nach dem LISTING'schen Gesetze im Allgemeinen zu, je weiter das Auge aus der Primärstellung abgewichen ist, aber für gewöhnlich wird von der Gesichtslinie eigentlich nur ein kleiner Theil ihres möglichen Spielraums benutzt, denn so oft uns daran liegt, uns über einen Gegenstand zu orientiren, wenden wir ihm auch das Gesicht zu, die Kopfbewegungen secundiren den Augenbewegungen, und die mehr excentrischen Stellungen der Augen werden auf diese Weise vermieden. Da nun die Primärstellung der Gesichtslinie erfahrungsgemäss zwar nicht (wie dies zufällig bei HELMHOLTZ der Fall zu sein scheint) in der Mitte, doch aber innerhalb des von ihr vorzugsweise benutzten relativ kleinen Bewegungsraumes liegt, so treten die grösseren Verstösse gegen das Princip der vermiedenen Scheinbewegung nur bei solchen Bewegungen auf, die für gewöhnlich gar nicht vorkommen, daher die Fehler nicht viel auf sich haben.

Wir dürfen also sagen, dass das Princip der vermiedenen Scheinbewegung durch das LISTING'sche Gesetz leidlichgut erfüllt ist, so weit das praktische Bedürfniss reicht. Möglich dass sogar gerade die nicht strenge Gültigkeit des Gesetzes besondere Vortheile für die Erfüllung des Principes der vermiedenen Scheinbewegung mit sich bringt. Wie schwierig es aber ist, letzteres zu erörtern, wenn man sich nicht in unfruchtbare theoretische Excursionen verlieren will, wird der folgende § zeigen.

§. 113.

Theoretische Combination der drei Principien der Augenbewegung.

Obwohl ich weit entfernt bin, zu glauben, dass mit der Besprechung der drei erwähnten Principien Alles berücksichtigt ist, was man sich als bestimmend für den Modus der Augenbewegungen den-

ken kann, so halte ich es doch nicht für uninteressant, darüber zu reflectiren, in welcher Weise sich die drei Principien so vereinigt denken lassen, dass die nothwendigen Collisionen der Principien untereinander möglichst gering werden; wäre es auch nur um zu zeigen, wie viel dabei zu berücksichtigen ist und wie wenig man Aussicht hat, einen so complicirten Mechanismus, wie das Auge ist, theoretisch reconstruiren zu können.

Das Princip der einfachsten Innervation oder der gleichen Lage bei gleicher Richtung lässt sich in voller Strenge gleichzeitig mit dem Princip des grössten Horopters erfüllen, sofern man letzteres nur für die Parallelstellungen urgirt, da es ohnehin für die Nahstellungen ziemlich unwesentlich ist. Aus dieser Combination der beiden Principien ergiebt sich die Forderung, dass beide Augen, trotz ihrem nicht gleichsinnigen, sondern symmetrischen Baue, sich bei allen Parallelstellungen vollkommen g l e i c h s i n n i g bewegen. Wir haben gesehen, dass diese Forderung, so weit sie praktischen Werth hat, ziemlich gut erfüllt ist.

Mit dem Principe der vermiedenen Scheinbewegung lässt sich das Princip der gleichen Lage bei gleicher Richtung nicht streng vereinigen. Schon LISTING zeigte, wie oben erwähnt wurde, dass, wenn man sich das erstere Princip für eine bestimmte Ausgangsstellung der Bewegung erfüllt denkt (wie dies im LISTING'schen Gesetze geschieht), das Princip für alle übrigen möglichen Ausgangsstellungen der Bewegung nicht erfüllt sein kann (siehe die in §. 115 gegebenen Consequenzen des LISTING'schen Gesetzes). Es liesse sich nun eine Betrachtung darüber anstellen, wie wohl die Augenbewegungen zu erfolgen hätten, damit beide Principien in möglichster Vollkommenheit erfüllt wären.

Hierzu wäre nöthig zu wissen, ob beide Principien physiologisch gleichen Werth haben oder nicht, d. h. ob man die nothwendigen Fehler passender dem einen oder dem andern Principe zuzuweisen habe. Da jedoch das Gesetz der gleichen Lage bei gleicher Richtung, wie es scheint, factisch sehr streng erfüllt ist, so weit es sich nicht um sehr excentrische Stellungen handelt, so wollen wir nur fragen, wie man, die strenge Gültigkeit dieses letzteren Princips vorausgesetzt, das andre durchgeführt denken könne, damit die Abweichungen von demselben möglichst wenig störend seien.

Da einerseits das Princip der vermiedenen Scheinbewegung, wenn es für eine einzige Ausgangsstellung ganz streng erfüllt ist, für die anderen nicht zu erfüllen ist, und da anderseits Abweichungen, wie ich erwähnt habe, nicht in Betracht kommen, sofern sie eine gewisse Grenze nicht überschreiten, so könnte man sich zunächst denken, es wäre vielleicht gleichsam ein juste milieu derart möglich, dass die Abweichungen auf das ganze Bewegungsfeld so vertheilt würden, dass zwar das Princip für keine Ausgangsstellung streng erfüllt, aber auch die Abweichungen nicht so erheblich wären, wie sie bei Geltung des LISTING'schen Gesetzes in der Nähe der Grenzen des Bewegungsfeldes sein müssen. Eine solche Vertheilung der Fehler aber würde, sofern sie überhaupt möglich wäre, darum sehr unzweckmässig sein, weil der physiologische Werth der Fehler ein ganz verschiedener ist je nach dem Orte des Bewegungsfeldes, wo sie begangen werden. Der physiologische Werth des Fehlers bei einer Bewegung steigt und fällt mit der Häufigkeit, mit der er begangen wird. Grosse Fehler an den Grenzen des Bewegungsfeldes der Gesichtslinien sind viel unerheblicher als kleine in der Mitte dieses Feldes, weil sich die Gesichtslinie dort nur ausnahmsweise oder für gewöhnlich nie, hier sehr häufig bewegt. Demnach ist der physiologische Werth eines Fehlers so zu sagen eine Function der relativen Häufigkeit seines Vorkommens und stehen beide ungefähr im umgekehrten Verhältnisse.

Wollte man also ganz streng verfahren, so müsste man die relativen Häufigkeiten kennen, mit der die einzelnen Partieen des Bewegungsfeldes von der Gesichtslinie begangen werden, um dann, so weit das möglich wäre, die Fehler so zu vertheilen, dass ihre Grösse zu jenen Zahlen etwa im umgekehrten Verhältnisse stände.

Denken wir uns, um die Sache auf ein einfaches Schema zu bringen, für eine bestimmte Stellung der Gesichtslinie liesse sich nachweisen, dass sie relativ am häufigsten vorkomme, und es fände sich ausserdem, dass die relative Häufigkeit einer Stellung abnähme mit ihrer Abweichung von jener häufigsten Stellung und zwar nach allen Seiten in demselben Verhältnisse, so würden, gleichviel wie der gesammte Spielraum der Gesichtslinie gestaltet ist und wo in demselben jene häufigste Stellung der Gesichtslinie liegt, die unvermeidlichen Fehler so zu vertheilen sein, dass

sie nach allen Seiten hin zunähmen mit der Entfernung von der häufigsten Stellung und dass sie selbstverständlich noch ausserdem überall möglichst klein wären. Gerade diese Forderung nun würde durch das LISTING'sche Gesetz streng erfüllt werden, wenn die Primärstellung der Gesichtslinien zugleich jene häufigste Stellung wäre. Jede andersartige Bewegung des Auges nämlich würde, sofern sie nicht gegen das Princip der gleichen Lage bei gleicher Richtung verstossen soll, zwar nach der einen Richtung vielleicht einen kleineren Fehler mit sich bringen, nur aber um nach der andern Richtung allerhand grössere Fehler zu bedingen, wie dies die geometrische Betrachtung der Sache sofort lehrt (vergl. §. 115).

Nun ist freilich diese schematische Rechnung ohne den Wirth gemacht, denn es lässt sich eine genaue Statistik der Frequenz, mit der die Gesichtslinie die einzelnen Partieen ihres Bewegungsraumes durchläuft, nicht geben; nur soviel liegt auf der Hand, dass die Gesichtslinie viel häufiger nach innen als nach aussen gerichtet ist, weil es zwar Convergenz-, aber keine Divergenzstellungen giebt; daher denn, wenn man blos das Princip der vermiedenen Scheinbewegung und das Gesetz der gleichen Lage bei gleicher Richtung bedenken wollte, eine Convergenzstellung als Primärstellung der Augen zu wünschen wäre. Dadurch aber würde gegen das Princip des grössten Horopters verstossen werden müssen, weil dies nur unter der Voraussetzung erfüllbar ist, dass die Primärstellung zugleich eine Parallelstellung ist. Bedenkt man hierzu noch, dass bei den Convergenzstellungen die Abweichungen von dem Principe der vermiedenen Scheinbewegung und die dadurch bedingten Scheinbewegungen im Allgemeinen viel weniger ins Gewicht fallen, weil ohnehin die betrachteten Linien sich meist nicht identisch abbilden und demnach die Orientirung über sie minder scharf wird, und weil die Scheinbewegung oder Verzerrung bei vielen Convergenzbewegungen in beiden Augen in entgegengesetzter Richtung erfolgt und sich demnach compensirt, so wird man auch aus theoretischen Gründen eine Parallelstellung als Primärstellung wünschenswerth finden müssen, und zwar diejenige Parallelstellung, welche das Auge relativ am häufigsten einnimmt, und welche vielleicht jene sogenannte Ruhstellung sein dürfte, die LISTING als Ausgangsstellung der Bewegungen annahm.

Ob es nun möglich wäre, durch nicht strenge Erfüllung des LISTING'schen Gesetzes den Uebelstand, der aus der parallelen Primärstellung für das Princip der vermiedenen Scheinbewegung erwächst, einigermassen zu beseitigen, ohne erheblich gegen das Princip des grössten Horopters zu verstossen, lässt sich um so weniger mit Erfolg eruiren, als wir die relativen Häufigkeiten nicht kennen, mit welchen die Gesichtslinie die einzelnen Theile ihres Spielraums besucht, und somit das im Obigen hierfür entworfene Schema sicher nur eine sehr entfernte Annäherung an die Wahrheit bietet. Möglich, dass die factisch bestehenden Abweichungen von LISTING's Gesetze derartige Ausgleichungen zu Wege bringen, möglich auch, dass sie aus ganz andern Principien zu erklären sind.

Das Resultat der theoretischen Combination der drei Principien ist also die Forderung, dass die Augen sich annähernd so bewegen sollen, wie sie es thun würden, wenn das LISTING'sche Gesetz streng gültig und die Primärstellung beider Gesichtslinien die relativ am häufigsten eingehaltene Primärstellung wäre. Die strenge Durchführung des LISTING'schen Gesetzes aber lässt sich aus der Combination der drei Principien nicht fordern, auch ist das Gesetz, wie ich glaube, bei Niemand streng durchgeführt. Ob aber die factischen Abweichungen denjenigen Abweichungen entsprechen, die sich vielleicht bei näherer Betrachtung theoretisch aus der nothwendigen Collision der drei Principien oder sonstwie ableiten liessen, muss ich für jetzt dahingestellt sein lassen.

Man wird der Aufstellung der drei Principien nicht den Vorwurf der Teleologie machen dürfen. Ich habe die Principien nur aufgestellt, um zu zeigen, was der wirkliche Modus der Augenbewegung dem Gesichtssinne leistet, und wie die Vielartigkeit der Leistungen Unvollkommenheit der einzelnen Leistung nothwendig bedingt. Indem man die einzelne Leistung gleichsam auf ihr Ideal, d. h. zum Princip erhebt, gelangt man erst zur richtigen Schätzung ihres Werthes, und indem man ihre Collision mit andern Leistungen darlegt, erlangt man erst Einsicht in die Nothwendigkeit der Mängel, welche sich in praxi zeigen. Aber ich bin weit entfernt zu glauben, dass mit diesen drei Principien alles Wesentliche erschöpft

ist, und noch weiter bin ich davon entfernt, allein aus diesen Principien ohne Weiteres die Genese des factischen Bewegungsmodus (während des individuellen Lebens oder während des Lebens der Gattung) ableiten zu wollen*).

§. 114.

Unhaltbarkeit des von Helmholtz aufgestellten Principes der Orientirung.

Dieses Princip zerfällt eigentlich in zwei, eines für die Ruhestellungen, das andre für die Bewegungen des Auges. Das erste soll nach

*) HELMHOLTZ ist der Ansicht, dass der factische und normale Bewegungsmodus des Auges, d. h. also sowohl das Gesetz der gleichen Lage bei gleicher Richtung als das LISTING'sche Gesetz überhaupt, nicht auf angeborenen Verhältnissen beruhe, sondern im Laufe des individuellen Lebens erworben sei. Ich lasse dies für jetzt dahin gestellt sein. Zur Stütze seiner Ansicht führt HELMHOLTZ u. A. Folgendes an: »Ich habe beobachtet, dass wenn ich des Abends beim Lesen schläfrig werde und sich Doppelbilder der Zeilen zu bilden anfangen, diese Doppelbilder oft übereinander stehen, zuweilen eine Raddrehung gegen einander zeigen. In diesem Zustande also, wo der Wille seine Energie verliert und man die ungehindertste Wirksamkeit aller durch den anatomischen Mechanismus vorgeschriebenen Bewegungsantriebe erwarten sollte, da hört gerade die gewöhnliche Anordnung der Augenbewegungen auf.«

Die Beobachtung ist richtig und ich habe sie oft gemacht, aber die Deutung ist unzulässig. Mir hat die nähere Betrachtung gerade das Gegentheil bewiesen, und es ist mir interessant gewesen, dass die ermüdeten Augen auch bei diesen unwillkürlichen Stellungen sich nicht anders als sonst verhalten. Die Doppelbilder entstehen bekanntlich unter diesen Umständen dadurch, dass die anstrengende Convergenz der Gesichtslinien nachlässt und die Augen gleichsam ihrer Sehnsucht nach einer minder anstrengenden Stellung nachgeben, d. h. in eine schwächere Convergenz zurückgehen. Nun kann man sich leicht überzeugen, dass hierbei die Doppelbilder einer Zeile nur dann übereinander treten, wenn die Zeile nicht in der Blickebene (oder ihr parallel) liegt, d. h. wenn der z. B. auf die eine Hand gestützte Kopf schief steht relativ zur Zeile. Das Uebereinanderliegen der Doppelbilder versteht sich dann von selbst. Sobald also übereinander liegende Doppelbilder erscheinen, braucht man nur seine Kopfstellung relativ zum Buche zu beachten, um sich zu überzeugen, dass die Gesichtslinien sehr wohl noch in einer Ebene liegen. Ebenso steht das Schieferscheinen der Doppelbilder stets genau in Einklang mit der jedesmaligen Neigung der Augen relativ zur Antlitzfläche, daher denn, wenn wie gewöhnlich beim Lesen die Augen nach unten gerichtet sind, auch das Schiefliegen der Doppelbilder selbstverständlich ist. Ich glaube nicht, dass sich dies bei andern Augen anders verhält als bei den meinigen, und jedenfalls beweist die von HELMHOLTZ angeführte Beobachtung, sowie sie vorliegt, nichts für eine Abweichung von dem beim Wachen üblichen Bewegungsmodus.

Helmholtz das factisch gültige Gesetz der gleichen Lage bei gleicher Richtung genetisch erklären. Ich habe die völlige Unhaltbarkeit dieses Principes der Orientirung schon in §. 109 theoretisch und praktisch bewiesen. Die Unhaltbarkeit des von Helmholtz für die Bewegungen aufgestellten zweiten Principes der Orientirung liegt nicht so offen zu Tage und erfordert eine eingehendere Besprechung.

Helmholtz reflectirt im Wesentlichen folgendermassen: Wenn der zunächst auf der Netzhautmitte *a* liegende Bildpunkt *α* bei einer bestimmten unendlich kleinen Bewegung des Auges auf den der Netzhautmitte benachbarten Netzhautpunkt *b* rückt, so ist es (ganz a priori) denkbar, dass die übrigen Bildpunkte sich das eine Mal so, das andre Mal anders auf der Netzhaut verschieben, und zwar ist die Zahl der möglichen verschiedenen Fälle unendlich gross*). Kämen nun alle diese Fälle, oder auch nur eine Anzahl derselben wirklich vor, so würde kein fester, bestimmter Zusammenhang zwischen der Verschiebung des Bildpunktes *α* von *a* nach *b* und den Verschiebungen aller übrigen gleichzeitigen Bildpunkte bestehen und es würde uns demnach unmöglich werden, zu der Einsicht zu gelangen, dass diese Verschiebungen eine Folge unserer Augenbewegung, nicht Folge einer Bewegung der Aussendinge seien. Erfolgt aber allemal, wenn der Bildpunkt *α* von *a* nach *b* rückt, die Verschiebung aller übrigen Bildpunkte in einer und derselben Weise, so würde ein solcher bestimmter Zusammenhang der Einzelverschiebungen sich bald unserer Erfahrung so einprägen, dass wir die Folgen jener willkürlichen Bewegung unseres Auges gleichsam für alle Einzelpunkte des Netzhautbildes voraussehen, also die Verschiebungen nicht mehr auf eine Bewegung der Objecte beziehen könnten.

Auf diese Weise kommt Helmholtz zu der Forderung, dass allemal, wenn der zunächst centrale Bildpunkt *α* sich von *a* nach *b* verschiebt, die Drehung um dieselbe Axe des Augapfels geschehen solle, gleichviel, um welche der a priori möglichen Axen; mit andern Worten, dass bei der erwähnten Verschiebung des Bild-

*) Um nämlich den Bildpunkt *α* von der Netzhautmitte *a* auf den unendlich nahen Netzhautpunkt *b* zu bringen, stehen a priori unendlich viele Axen zur Verfügung, d. h. (mit Ausnahme der Gesichtslinie) alle Axen, welche gelegen sind in der Ebene, die, durch die Gesichtslinie gehend, senkrecht zu der durch die Gesichtslinie und den Punkt *b* bestimmten Ebene liegt.

punktes a die etwaige unendlich kleine Raddrehung stets in derselben Weise geschehe.

Nachdem HELMHOLTZ zuerst das erwähnte Princip der Orientirung vertheidigt hat, muss dieses zweite Princip überraschen. Denn wenn wir bei jeder beliebigen Augenstellung wissen können, welcher Meridian z. B. der vertikalen Richtung etc. entspricht, so werden wir dies nothwendigerweise auch in jedem Zeittheilchen einer Bewegung des Auges wissen, wir werden somit in jedem Augenblicke der Bewegung über die Lage unserer Netzhautmeridiane und der entsprechenden Aussendinge orientirt sein; kurzum das erste Princip macht, wie mir scheint, das zweite vollkommen überflüssig. Kommt, wie HELMHOLTZ meint, die jeweilige Lage des Auges auch in Betreff der Raddrehung dem Sensorium sozusagen zur Kenntniss, und wird diese Kenntniss bei der Auslegung der Netzhautbilder mit verwerthet, so ist eben ein aus dem Irrthum über die jeweilige Raddrehung möglicher Fehler von vornherein ausgeschlossen.

Sehen wir aber ab von diesem Pleonasmus und prüfen das zweite Princip ganz ohne Rücksicht auf das erste, welches ja ohnehin nicht gültig ist. Angenommen, die vollständigste Durchführung des zweiten Principes wäre möglich, so würden sich folgende Consequenzen ergeben.

Das Princip fordert lediglich, dass, so oft bei willkürlicher Augenbewegung der zunächst centrale Bildpunkt α sich von der Netzhautmitte a auf den unendlich nahen Netzhautpunkt b verschiebt, die Drehung des Auges um dieselbe Axe geschehe, gleichviel in welchem Theile ihres Bewegungsraumes sich die Gesichtslinie befindet. Wo im Auge diese Drehungsaxe liegt, ist für das Princip an sich gleichgültig. Allen Verschiebungen des zunächst centralen Bildpunktes α nach den unendlich nahen Netzhautpunkten b, b', b'' . . . . . entsprächen also ebensoviele Axen B, B', B'' . . . ., die eine unveränderliche, aber beliebige Lage im Auge hätten.

Sobald nun diese Axen nicht rechtwinklig zur Gesichtslinie liegen, kann dieselbe offenbar bei Drehung um eine dieser Axen (als dauernde Axe) nicht eine Ebene, sondern nur eine Kegelfläche, der Blick also auf einem beliebigen ebenen Gesichtsfelde nicht eine gerade

Linie, sondern nur irgend einen Kegelschnitt beschreiben *). Sollte also der Blick auf einer geraden Linie hinbewegt werden, d. h. die Gesichtslinie eine Ebene beschreiben, so müsste sich das Auge in jedem Augenblicke um eine andre Axe d. h. um augenblickliche Axen drehen, wobei das Auge eine mehr oder minder grosse Raddrehung erleiden würde, was, wie in §. 112 ausführlich gezeigt wurde, nothwendig eine Desorientirung, d. h. eine Scheinbewegung, zur Folge haben muss. Erfahrung könnte dies nicht bessern, denn sie könnte die bei jeder Raddrehung eintretende Disharmonie zwischen den Wahrnehmungen des ruhenden und denen des bewegten Auges nicht ausgleichen und das Gesetz der Sehrichtungen nicht umstossen; des Binocularsehens gar nicht zu gedenken.

Bei näherer Betrachtung ergeben sich noch mancherlei andre Unzuträglichkeiten. Sofern nicht alle die erwähnten Axen $B, B', B'' \ldots$ gleiche Winkel mit der Gesichtslinie einschliessen **), so ist bei stetiger Bewegung des Blickes entlang einer Geraden die Raddrehung in den einzelnen Abschnitten der Bewegung von verschiedener Grösse und ausserdem ist sie sehr verschieden je nach der Lage der Aussenlinie: es ist völlig undenkbar, dass diese zahllosen Verschiedenheiten sich für jeden Einzelfall dem Gedächtnisse so einprägen könnten,

*) Dieser Umstand allein lehrt eigentlich schon die Unhaltbarkeit des Principes. Während wir nämlich den Blick in stetiger Weise immer vom eben fixirten Punkte nach dem unendlich nahen z. B. nach rechts gelegenen Punkte fortschöben, also das Bewusstsein einer stetig nach rechts gerichteten und also geradlinigen Bewegung des Blickes hätten, würde dieser gleichwohl auf einem ebenen Gesichtsfelde keine gerade Linie, sondern einen Kegelschnitt beschreiben, und zwar könnte dieser Kegelschnitt bei verschiedener Richtung der Bewegung die allerverschiedenste Gestalt haben, weil die Drehungsaxe dem Principe zufolge einen ganz beliebigen Winkel mit der Gesichtslinie einschliessen kann, und weil ausserdem die Gestalt des Kegelschnittes von der Neigung des Gesichtsfeldes zur Gesichtslinie abhängen würde. Dabei könnte von Orientirung nicht die Rede sein.

**) Indem Helmholtz weiterhin sein Princip mit dem Gesetze der gleichen Lage bei gleicher Richtung combinirt, kommt er in der That zu der Forderung, dass alle diese Axen in einer Ebene liegen sollen, womit gesagt ist, dass jede einzelne Axe verschieden zur Gesichtslinie geneigt ist. Denn dass die Axenebene rechtwinklig zur Gesichtslinie liegen solle, lässt sich aus dem Principe gar nicht ableiten, und Helmholtz statuirt ausdrücklich eine ganz beliebige Lage der Axenebene.

dass sie bei Beurtheilung der Bildverschiebungen mit eingerechnet und demnach die Scheinbewegungen vermieden werden könnten.

Die vollkommene Durchführung des HELMHOLTZ'schen Principes müsste uns also nothwendig vielmehr desorientiren, anstatt die Orientirung zu erleichtern. Wollte man aber einwenden, dass man ja nur die erwähnten Drehungsaxen B, B', B'' .... sämmtlich senkrecht zur Gesichtslinie einzunehmen brauche, um alle erwähnten Uebelstände zu vermeiden, so stellt man eine Forderung, die mit dem Principe als solchem gar nichts zu thun hat. Denn das Princip fordert nur, dass die Axen B, B', B'' ... eine unveränderliche Lage im Auge haben, eine bestimmte Lage lässt sich aus dem Principe nicht ableiten, was auch HELMHOLTZ selbst ausdrücklich erwähnt. Nun ist aber, wie ich gezeigt habe, gerade die bestimmte, rechtwinklige Lage der Drehungsaxen zur Gesichtslinie für die Orientirung bei der Bewegung die Hauptsache. Dass, wenn die Drehungsaxen diese bestimmte Lage hätten, sie zugleich eine unveränderliche Lage im Auge hätten, ist freilich richtig. Nicht aber, dass, wie HELMHOLTZ will, die Verschiebungen aller einzelnen Bildpunkte immer in derselben Weise erfolgen, so oft der zunächst centrale Bildpunkt von der Netzhautmitte a auf den unendlich nahen Bildpunkt b rückt, sondern dass bei allen geradlinigen Blickbewegungen alle Bildpunkte die meridionale, oder eine der meridionalen parallele Bahn beschreiben, ist die Hauptsache; nicht auf die relative Gleichartigkeit der Bildverschiebung, sondern auf das Wie der Bildverschiebung, nicht auf die relative Gleichartigkeit der etwaigen Raddrehungen, sondern auf die Vermeidung der Raddrehungen überhaupt kommt Alles an.

Unter Berücksichtigung des Gesetzes der gleichen Lage bei gleicher Richtung kommt nun HELMHOLTZ weiterhin zu der Forderung, dass alle Drehungsaxen B, B', B'' .... in einer Ebene liegen sollen, er bemerkt aber, wie erwähnt, ausdrücklich, dass dieselbe eine ganz beliebige Lage im Auge haben könnte. Während also mein Princip der vermiedenen Scheinbewegung an sich, d. h. ohne alle Rücksicht auf das Gesetz der gleichen Lage bei gleicher Richtung fordert, dass alle Drehungsaxen in einer zur Gesichtslinie senkrechten Ebene liegen sollen, (dass es also eine atrope Linie gebe, und dass die Gesichtslinie diese atrope

Linie sei), kann HELMHOLTZ die Forderung einer Axenebene erst mit Hülfe jenes empirisch gefundenen Gesetzes aus seinem Principe ableiten, und kommt auch dann nur zur Forderung einer unveränderlichen Axenebene überhaupt, nicht aber zur Forderung einer zur Gesichtslinie senkrechten Axenebene. Nun zeigte schon LISTING, dass, wenn für eine Ausgangsstellung sämmtliche Drehungsaxen in einer Ebene liegen, sie für die übrigen Ausgangsstellungen nicht in derselben Ebene liegen können, vorausgesetzt, dass das Gesetz der gleichen Lage bei gleicher Richtung gelten soll. HELMHOLTZ fragt daher, wie wohl bei Gültigkeit des letzteren Gesetzes der Modus der Augenbewegungen sein müsse, damit die Abweichungen von seinem Principe der Orientirung möglichst gering seien. Als Fehler betrachtet er demnach jede Drehung um die zur willkürlich angenommenen Axenebene senkrechte oder atrope Linie, und berechnet nun, wie die Augen sich bewegen müssten, damit die Summe der Fehlerquadrate bei den sämmtlichen möglichen unendlich kleinen Bewegungen des Auges möglichst klein sei.

In dieser Rechnung werden also alle gleichgrossen Fehler auch als gleichwerthig angesehen, was physiologisch völlig unzulässig ist, weil, wie ich schon oben gezeigt habe, ein Fehler physiologisch um so mehr ins Gewicht fällt, je öfter er begangen wird. Um dies an einem Extrem zu veranschaulichen, so ist es sehr gleichgültig, ob ein Fehler an den Grenzen des Bewegungsfeldes mehr oder minder gross ist, denn das Auge richtet sich selten oder nie nach jenen Grenzen, und wenn lediglich aus dem Grunde, die Summe der erwähnten Fehlerquadrate möglichst klein zu machen, am Rande des Bewegungsfeldes ein grosser Fehler vermieden würde, während vielleicht durch diesen grossen Fehler im Innern des Bewegungsfeldes ein kleinerer Fehler vermieden werden könnte, so wäre dies im höchsten Grade unzweckmässig. Der physiologische Werth eines Fehlers ist also sozusagen eine Function seiner relativen Häufigkeit oder des Ortes, wo er begangen wird. Sollte also die Rechnung ein erspriessliches Resultat haben, so müsste man ausser der Form des Bewegungsfeldes auch die relativen Häufigkeiten kennen, mit denen die »atrope Linie« die einzelnen Orte des Bewegungsfeldes besucht. Da wir nun diese Frequenzen nicht kennen, so ist auch die Rechnung eigentlich unausführbar. Soviel ist jedoch, wie erwähnt, ohne Weiteres klar,

dass das Auge weit häufiger nach innen als nach aussen gerichtet ist*).

Nicht also auf die Summe der erwähnten Fehlerquadrate kommt es hauptsächlich an, sondern auf die Art der Vertheilung der Fehler im Bewegungsraume, d. h. HELMHOLTZ hätte eigentlich die Aufgabe gehabt, zu berechnen, wie der Modus der Augenbewegungen sein müsse, damit erstens die Fehler so vertheilt wären, dass ihre Grösse überall möglichst in einem umgekehrten Verhältnisse zu ihrer Häufigkeit stände, und damit zweitens die Summe der erwähnten Fehlerquadrate zugleich möglichst klein sei. Natürlich ist diese Rechnung nicht ausführbar.

Wenn also HELMHOLTZ aus der Combination seines Principes mit dem Gesetze der gleichen Lage bei gleicher Richtung mit Hülfe seiner Rechnung schliesslich ableitet, dass unter Voraussetzung eines kreisförmigen Bewegungsfeldes die atrope Linie sich nach demselben Gesetze bewegen müsste, welches LISTING für die optische Axe aufstellt, so kann diesem Ergebnisse ein physiologischer Werth so ohne Weiteres nicht beigemessen werden. Auch darf man nicht glauben, dass dieses Ergebniss mit dem LISTING'schen Gesetze identisch sei; denn LISTING fordert (und dies ist wesentlich) die optische Axe, die er noch nicht von der Gesichtslinie unterschied, als atrope Linie, HELMHOLTZ eine beliebig im Auge gelegene atrope Linie: der Modus der Augenbewegung kann aber in beiden Fällen ein ganz verschiedener sein. Wenn HELMHOLTZ zuletzt empirisch findet, dass für seine Augen die Gesichtslinie die atrope Linie sei, so ist dies für seine theoretische Ableitung ganz zufällig, wie er denn in der That aus WUNDT's Versuchen berechnet hat, dass bei diesem Beobachter die atrope Linie nicht mit der Gesichtslinie zusammenfalle**). HELMHOLTZ hat, indem er beim LISTING'schen Gesetze das Hauptgewicht auf die Existenz einer atropen Linie, nicht auf ihren Ort im Auge

*) Genau genommen, wäre auch noch zu bedenken, dass Fehler unter einer gewissen Grösse gar nicht wahrnehmbar sind, also in der Rechnung = 0 zu setzen sind.

**) Da WUNDT's Versuche auch nur mit Nachbildern angestellt sind, und da WUNDT weiterhin (siehe u. a. POGGENDORFF's Annal. der Physik Bd. 116, S. 617) höchst unrichtige Angaben über gewisse Nachbildversuche gemacht hat, so halte ich das von HELMHOLTZ auf Grund der Versuche WUNDT's berechnete Ergebniss für ziemlich problematisch.

legte, die hohe physiologische Bedeutung dieses Gesetzes ganz und gar verkannt.

Hätte Helmholtz die verschiedene physiologische Bedeutung der einzelnen Theile des Bewegungsfeldes auch nur einigermaassen berücksichtigt, so hätte sich ihm eine Convergenzstellung als Primärstellung ergeben müssen und er hätte die Unwesentlichkeit der allgemeinen Form des Bewegungsfeldes erkannt. Die Thatsache, dass die quasi Primärstellung eine (genaue oder annähernde) Parallelstellung ist, gewinnt nur einen Sinn, wenn man die Interessen des binocularen Sehens bedenkt, die Helmholtz ganz vernachlässigt.

Nur unter folgenden, freilich willkürlichen und unrichtigen Voraussetzungen wäre die Rechnung von Helmholtz brauchbar: Setzt man, die atrope Linie befinde sich relativ am häufigsten in der Mitte ihres kreisförmig angenommenen Bewegungsraumes und die relative Häufigkeit einer Secundärstellung nehme nach allen Seiten hin ab mit dem Winkel, welchen diese Stellung der atropen Linie mit ihrer Primärstellung einschliesst, so erfüllt das auf diese atrope Linie übertragene Listing'sche Gesetz allerdings die doppelte Forderung, dass erstens die Fehler, ganz allgemein genommen, im umgekehrten Verhältniss stehen zu der Häufigkeit ihres Vorkommens, und dass zweitens die Summe der erwähnten Fehlerquadrate möglichst klein sei.

Folgendes also sind die Haupteinwendungen, die ich gegen die von Helmholtz entwickelte Theorie der Augenbewegungen zu machen habe:

1) Das Princip der Orientirung bei den Ruhestellungen ist theoretisch unhaltbar und wird durch die Thatsachen widerlegt.

2) Das Princip der Orientirung bei den Bewegungen wäre überflüssig, wenn, wie Helmholtz meint, das erste Princip factisch erfüllt wäre.

3) Das Princip der Orientirung bei den Bewegungen ist unhaltbar, weil seine strenge Durchführung (wäre sie möglich) uns im Allgemeinen vielmehr desorientiren müsste. Nicht dass eine etwaige Drehung um die Gesichtslinie immer in relativ derselben Weise, sondern dass nie eine Raddrehung erfolge, muss theoretisch gefordert werden.

4) Die Rechnung, durch welche Helmholtz die möglichst vor-

theilhafte Vereinigung seines zweiten Principes mit dem Gesetze der gleichen Lage bei gleicher Richtung zu finden sucht, würde, auch wenn sein Princip richtig wäre, keinen physiologischen, sondern nur mathematischen Werth haben, weil in dieselbe alle gleichgrossen Fehler auch als gleichwerthige eingeführt werden, während doch der physiologische Werth eines Fehlers nicht bloss von seiner Grösse abhängt, sondern zugleich eine Function der relativen Häufigkeit seines Vorkommens ist; daher es denn an erster Stelle auf die Art der Vertheilung der unvermeidlichen Fehler und nur sehr bedingungsweise auf die Summe der Fehlerquadrate ankommt.

5) Die Gestalt des Bewegungsfeldes im Ganzen könnte an sich nicht bestimmend auf die Ausführung des Principes der Orientirung sein, daher es unzulässig ist, bei Kreisform jenes Feldes lediglich dieser Form wegen ein anderes Gesetz der Augenbewegungen vorauszusetzen, als bei elliptischer oder sonstwelcher Form.

6) Die wichtigen Interessen des binocularen Sehens hat Helmholtz ganz ausser Acht gelassen. Aber nur ihre Berücksichtigung lehrt die Bedeutung des factischen Modus der Augenbewegungen vollständig würdigen.

7) Weder die Forderung einer atropen Linie noch die Forderung der Gesichtslinie als atroper Linie, welche sich beide aus meinem Principe der vermiedenen Scheinbewegung direct ergeben, sind aus dem Helmholtz'schen Principe der Orientirung bei der Bewegung direct ableitbar. Erstere lässt sich vielmehr nur unter Mithülfe des empirischen Gesetzes der gleichen Lage bei gleicher Richtung, letztere gar nicht aus dem Principe ableiten.

Alles in Allem genommen sind also die von Helmholtz aufgestellten Principien unhaltbar, und es lässt sich, auch ihre Gültigkeit einmal angenommen, weder die strenge Forderung, dass die atrope Linie sich nach dem, von Listing für die optische Axe aufgestellten Gesetze bewege, noch die Forderung, dass die Gesichtslinie (optische Axe) die atrope Linie sei, also überhaupt nicht, wie Helmholtz meint, das Listing'sche Gesetz aus jenen Principien ableiten.

Ich glaubte, mir diese eingehende Kritik der Helmholtz'schen Arbeit daraum erlauben zu dürfen, weil der Leser, gefesselt vom Scharfsinne der theoretischen Deductionen des berühmten Forschers,

nur allzu leicht die Kritik darüber vergessen kann, in wieweit diese theoretischen Deductionen physiologische Berechtigung haben.

§. 115.

Geometrische Betrachtung des Listing'schen Gesetzes.

Wir wollen alle die Axen, um welche sich das Auge aus der Primärstellung geraden Wegs in eine Secundärstellung dreht, äquatoriale Axen nennen; dieselben liegen sämmtlich in einer Ebene, Aequatorialebene, welche im Drehpunkte auf der Gesichtslinie senkrecht steht.

Wird das Auge um die (beliebige) Aequatorialaxe A aus der Primärstellung in die Secundärstellung s gedreht, so dreht sich die Aequatorialebene um denselben Winkel wie die Gesichtslinie aus ihrer Primärstellung heraus, und es beschreibt eine beliebige andre Aequatorialaxe B im Allgemeinen ein Stück eines geraden Kreiskegels, dessen Längsaxe die Axe A ist. Wird dagegen das Auge um die Axe B aus der Primärstellung in die Secundärstellung s' gedreht so beharrt die Axe B in ihrer Primärstellung.

Sollte nun das Auge aus der Secundärstellung s in die Secundärstellung s' um eine feste Axe gedreht werden, so wäre diese Axe bekanntlich*) zu finden, wenn man die Lage zweier Durchmesser der Augenkugel sowohl vor als nach der Drehung, d. h. sowohl bei der Secundärstellung s als bei der Secundärstellung s' kennt. Hälfte man den Winkel, welcher von den beiden Stellungen des einen Durchmessers (vor und nach der Drehung) eingeschlossen wird, durch eine, zur Ebene dieses Winkels senkrechte Ebene, so enthält diese Ebene die gesuchte Axe; führt man dieselbe Construction für die beiden Stellungen des andern Durchmessers aus, so erhält man eine zweite Ebene, in welcher ebenfalls die gesuchte Axe liegt: der Durchschnitt beider Ebenen ist folglich die gesuchte Axe.

Als der eine Durchmesser diene uns die Gesichtslinie, als der andre die Aequatorialaxe B; die letztere nimmt bei der Secundärstellung s' noch ihre primäre Lage ein, bei der Secundärstellung s aber hat sie dieselbe verlassen. Hälften wir durch die Ebene E den

*) Vergl. z. B. FICK, Mediz. Physik §. 45.

Ebenenwinkel, welcher von der Primärstellung und der Secundärstellung s der Aequatorialebene eingeschlossen wird, so muss diese Ebene E offenbar auch den Winkel hälften, welcher von der Primärstellung und der Secundärstellung s der Axe B eingeschlossen wird, und zugleich muss die Ebene E senkrecht stehn auf der Ebene dieses Winkels. Die Ebene E ist daher die eine Bestimmungsebene, in ihr liegt die gesuchte Axe. D. h. also: Die feste Axe, um welche sich das Auge aus der Secundärstellung s in die Secundärstellung s' drehen könnte, liegt in der Ebene, welche den Ebenenwinkel hälftet, der von der Primärstellung und der Secundärstellung s der Aequatorialebene eingeschlossen wird. Die Axe selbst würde nun gefunden werden, wenn wir den Winkel, welcher von der Secundärstellung s und der Secundärstellung s' der Gesichtslinie eingeschlossen wird, durch eine, zur Ebene dieses Winkels senkrechte Ebene E hälften und so den Durchschnitt der Ebenen E und E' bestimmen wollten.

Wählen wir statt der Secundärstellung s' eine andre Secundärstellung s'', und suchen die feste Axe, um welche das Auge aus der Secundärstellung s in die Stellung s'' gedreht werden könnte, so erhalten wir bei der erwähnten Construction offenbar immer die Ebene E als die eine Bestimmungsebene, während die andre Bestimmungsebene eine verschiedene Lage hat. Hieraus folgt unmittelbar:

1) dass die festen Axen, um welche das Auge aus einer bestimmten Secundärstellung s in beliebige andre Secundärstellungen gedreht werden könnte, sämmtlich in einer Ebene liegen und zwar in derjenigen, welche den Ebenenwinkel hälftet, der von der Primärstellung und von der Secundärstellung s der Aequatorialebene (d. i. der primären Axenebene) eingeschlossen wird. Diese Ebene möge die Axenebene der betreffenden Secundärstellung heissen.

2) dass, wenn das Auge aus einer beliebigen Secundärstellung um eine, in der Axenebene dieser Secundärstellung gelegene Axe gedreht wird, es stets wieder Secundärstellungen, beziehendlich die Primärstellung durchläuft.

Da die Axenebene einer beliebigen Secundärstellung die Aequa-

torialebene in einer Aequatorialaxe durchschneiden muss, d. h. da die Axenebene jeder Secundärstellung eine Aequatorialaxe enthält, so folgt dass nur bei Drehung um diese eine Axe der secundären Axenebene die Gesichtslinie eine Ebene, bei allen Drehungen um eine der andern Axen aber die Fläche eines geraden Kreiskegels beschreibt. Hieraus nun ergiebt sich wieder

3) dass wenn die Gesichtslinie geraden Wegs d. h. unter Beschreibung einer Ebene aus einer Secundärstellung in eine andre gedreht werden soll, dies im Allgemeinen um veränderliche (augenblickliche) Axen, d. h. mit einer sogenannten Raddrehung erfolgen muss, und dass es nur dann um eine feste Axe möglich ist, wenn die betreffende Drehungsaxe zugleich eine Aequatorialaxe ist, d. h. wenn das Auge bei der Drehung entweder die Primärstellung passirt, oder durch fortgesetzte oder entgegengesetzte Drehung um dieselbe Axe in die Primärstellung gelangen könnte.

Da die Axenebene einer Secundärstellung, wie gezeigt wurde, um so mehr zur Aequatorialebene geneigt ist, je grösser die Abweichung der Secundärstellung von der Primärstellung ist, so folgt, dass die Kegelflächen, welche die Gesichtslinie bei Drehung um feste Axen aus einer Secundärstellung heraus beschreibt, im Allgemeinen einen um so kleineren Oeffnungswinkel, d. h. eine um so schroffere Krümmung haben, und dass dem entsprechend die sogen. Raddrehung der Gesichtslinie eine um so stärkere ist, je mehr die Secundärstellung, aus welcher die Drehung um feste Axen geschieht, von der Primärstellung abweicht. Insbesondere aber wird die Raddrehung um so stärker sein, je mehr die feste Axe der Drehung von der Aequatorialebene abweicht. Da ferner, wenn die Gesichtslinie unter Beschreibung einer Ebene (d. h. also im Allgemeinen um veränderliche Axen) aus der Secundärstellung *s* in die Secundärstellung *s'* gedreht wird, sie unterwegs denselben Grad der Raddrehung erleiden muss, als wenn sie durch Drehung um eine feste Axe aus der Stellung *s* in die Stellung *s'* gedreht wäre, obgleich sich die Raddrehung in beiden Fällen verschieden auf den Weg vertheilt, so folgt

4) dass, wenn die Gesichtslinie geraden Wegs, d. h. unter Beschreibung einer Ebene aus einer Secundär-

stellung s in die andre s' gedreht wird, die gesammte auf diesem Wege erfolgende Raddrehung im Allgemeinen (d. h. ceteris paribus) um so stärker ist, je mehr die Stellung s von der Primärstellung abweicht, und dass insbesondre die Raddrehung um so stärker ist, je grösser der Winkel zwischen der Aequatorialebene und derjenigen Axe ist, um welche, als feste Axe, das Auge aus der Stellung s in die Stellung s' gedreht werden könnte.

Druck von Breitkopf und Härtel in Leipzig.

BEITRÄGE

ZUR

PHYSIOLOGIE.

VON

Dr. med. **EWALD HERING,**

PRAKTISCHEM ARZTE UND PRIVATDOCENTEN DER PHYSIOLOGIE.

FÜNFTES HEFT:

VOM BINOCULAREN TIEFSEHEN.
KRITIK EINER ABHANDLUNG VON HELMHOLTZ ÜBER DEN HOROPTER.

LEIPZIG,

VERLAG VON WILHELM ENGELMANN.

1864.

VORWORT.

Das vorliegende Heft giebt meinen Abhandlungen über den Ortsinn der Doppelnetzhaut einen vorläufigen Abschluss. Es enthält die allgemeine Theorie des Gegenstandes mit besonderer Rücksicht auf die Tiefenwahrnehmung. Ich habe mich in Vergleich zur Wichtigkeit des Gegenstandes und der Fülle des hierhergehörigen Stoffes kurz und stellenweise dogmatisch kurz gefasst: erstens weil mir als praktischem Arzte nur eine knappe Muse zugemessen ist, zweitens weil die herrschende Richtung der physiologischen Optik meiner Auffassung nicht günstig ist, daher mir eine detaillirte Ausarbeitung meiner Theorie nicht opportun schien. Zwar hat Helmholtz die von mir angegriffene Lehre seiner Schüler Wundt und Nagel nicht, wie vielfach erwartet wurde, als die seinige anerkannt, sondern sich formaliter auf die Seite der Identitätstheorie gestellt; aber in seinen Arbeiten über die Augenbewegung und den Horopter operirt der scharfsinnige Forscher noch immer mit den Voraussetzungen und Begriffen der Richtungslinientheorie und hat dadurch, wie ich gezeigt zu haben glaube, mancherlei fundamentale Fehler in seine Abhandlungen gebracht. Fick hat sich noch ganz neuerdings mit voller Entschiedenheit zur Projectionstheorie bekannt. Nur Volkmann vertritt in seiner neuesten Abhandlung im Wesentlichen dieselben Ansichten wie ich.

Unter diesen Umständen, d. h. solange noch Männer wie HELMHOLTZ und FICK zur Opposition gehören, darf ich kaum auf günstige Aufnahme meiner Arbeiten rechnen. Dazu kommt die sehr »psychologische« Färbung aller neueren Abhandlungen über das Sehen, während ich mich auf rein physiologische Basis gestellt habe. Schon VOLKMANN hatte die Lehre vom Sehen mehr und mehr vom physiologischen Boden gelöst und den Armen der Psychologie entgegengeführt. Unter den Händen WUNDT's wurde sie gänzlich zur Adoptivtochter der Psychologie. An Stelle des physiologischen Geschehens trat der logische Process, die Mechanik des Nervensystems wurde zum Syderoxylon des »unbewussten Schlusses«, KANT und HERBART, sonst oft geschieden, mussten sich zu diesem Werke die Hände reichen, und schliesslich erschien CLASSEN's »Schlussverfahren des Sehactes«.

Wenn erst diese psychologischen Abschweifungen sowohl als die Richtungslinientheorie völlig überwunden sein werden, wird es an der Zeit sein, der hier erörterten Theorie eine weitere Ausarbeitung zu geben, vorausgesetzt, dass bis dahin nicht ihre Unhaltbarkeit dargethan worden ist.

Ich bemerke der Vollständigkeit wegen hier noch die kleineren Abhandlungen, welche ich über denselben Gegenstand andernorts veröffentlicht habe:

Ueber Dr. A. CLASSEN's Beitrag zur physiologischen Optik. VIRCHOW's Archiv. Bd. XXVI. S. 560.

Ueber W. WUNDT's Theorie des binocularen Sehens. POGGENDORFF's Annal. der Physik. Bd. CXIX. S. 115.

Zur Kritik der WUNDT'schen Theorie des binocularen Sehens. POGGENDORFF's Annal. Bd. CXXII. S. 476.

Das Gesetz der identischen Sehrichtungen. REICHERT und DU BOIS Archiv. 1864. S. 27. (Resumé vom Inhalte des I. und II. Heftes dieser Beiträge.)

Die sogenannte Raddrehung des Auges in ihrer Bedeutung für das Sehen bei ruhendem Blicke. REICHERT und DU BOIS Archiv. 1864. S. 278. (Widerlegung des MEISSNER-HELMHOLTZ'schen Princips der Orientirung).

Bemerkungen zu VOLKMANN's neuen Untersuchungen über das Binocularsehen. REICHERT und DU BOIS Archiv. 1864. S. 303.

Der zweite Abschnitt vorliegenden Heftes enthält eine Kritik der neuen Arbeit von HELMHOLTZ über den Horopter (Archiv f. Ophthalmol. Bd. X. Abth. I). Der geschätzte Forscher hat seine frühere, von mir im vorigen Hefte kritisirte Methode nicht wieder benützt, sondern das Problem ebenso angefasst, wie ich dies bereits im III. Hefte in elementarer Weise gethan hatte. Eine allgemeine Lösung des Problems, wie sie das IV. Heft brachte, hat HELMHOLTZ nicht gegeben. Ausser der Erörterung der mathematischen Fehler, welche die Arbeit enthält, habe ich eine eingehende Kritik der, wie ich meine, irrigen Ansicht gegeben, welche HELMHOLTZ von der Bedeutung des Horopters beim Sehen aufstellt.

Leipzig, den 19. Sept. 1864.

Der Verfasser.

INHALT.

Seite

Vom binocularen Tiefsehen.

Kritik einer Abhandlung von Helmholtz über den Horopter.

Vom binocularen Tiefsehen.

§ 116.

Einleitendes.

Während ich im Früheren stets von Netzhautbildern mit Flächeninhalt gesprochen habe, muss ich bei Besprechung der binocularen Tiefenwahrnehmung von den Bildern selbst ganz absehen und darf mich nur auf ihre farblosen und raumleeren Umrisse beziehen. Wie ich schon kurz erörtert habe, ist ein Strich ein ganz anderes Sehobject, als eine Linie, d. i. die an sich farblose und raumleere Grenze zwischen zwei Farben, wenn ich einmal der Einfachheit wegen jede Lichtempfindung Farbe nennen darf. Ein Strich hat stets Farbe und Rauminhalt, wäre er auch noch so fein; er hat zwei Längscontoure, und ist insofern ein doppeltes Object. Analog ist der Unterschied zwischen Flecken und Punkten. Man pflegt zu sagen, die mathematische Linie und der mathematische Punkt seien Producte der Abstraction, nie habe man wirklich solche gesehen. Und doch bietet uns jeder Augenblick tausende von mathematischen Linien und Punkten dar. Jeder Umriss eines Gegenstandes, für welchen das Auge accommodirt ist, stellt sich uns als eine mathematische Linie dar, und wo zwei solche Linien sich durchschneiden, haben wir das sinnliche Bild eines mathematischen Punktes. Die Unterscheidung der blossen Umrisse der Bilder von den Bildern selbst ist für das Folgende von grosser Wichtigkeit. Eigentlich müssten alle Elementarversuche über die binoculare Tiefenwahrnehmung nur mit mathematischen Linien und Punkten angestellt werden. Denn nur so liesse sich der gewaltige Einfluss des erworbenen Tiefsehens eliminiren. Wir müssen uns freilich statt der mathematischen Linien möglichst feiner, mattschwarzer Drähte bedienen. Das a priori wünschenswerthe Experimentiren mit Punkten aber lässt sich nicht annähernd ermöglichen, weil wir zwar

feinste Kügelchen benützen, aber dieselben nicht frei schwebend im Raume anbringen könnten. Die übliche Benützung schwarzer Marken auf Papier ist für die hier einschlagenden Versuche desshalb sehr unzweckmässig, weil wir uns nie ganz von der Vorstellung der Papierfläche emancipiren können, und weil überhaupt ein solches Papier zahlreiche Motive für die erworbene Tiefenauslegung bietet, welche sich dann mit den Motiven des ursprünglichen Tiefsehens aufs Trübste mischen. Denn die erworbene Tiefenauslegung ist in vielen Fällen der ursprünglichen gerade entgegengesetzt.

Von der erworbenen Tiefenwahrnehmung darf man im Allgemeinen sagen, dass sie die Dinge auf Grund der gesammten Erfahrung, analog ihrer wirklichen Entfernung von dem sie sehenden Auge localisirt, oder vielmehr zu localisiren strebt, denn eine der Wirklichkeit genau entsprechende Localisation ist aus vielen Gründen allerdings unmöglich (vergl. § 55 u. 56). Jeder, der zwei Augen hat, ist nun in Betreff des erworbenen Tiefsehens ein doppelter Einäugiger, d. h. für jedes seiner beiden Netzhautbilder gelten alle die zahllosen Motive zur Tiefenauslegung, welche auch den wirklich Einäugigen leiten. Aber ausser diesem erworbenen Tiefsehen giebt es noch ein Tiefsehen, welches auf einer angebornen Sinnesenergie beruht, völlig unabhängig von aller Erfahrung wirkt und um so reiner an den Tag tritt, wenn Alles ausgeschlossen wird, was das erworbene Tiefsehen in Thätigkeit versetzt. Nie wird derjenige eine klare Einsicht in die Gesetze der Tiefenwahrnehmung gewinnen, welcher nicht jede von beiden Arten des Tiefsehens gesondert untersucht, und dann erst die mannichfache Mischung und die oft eintretenden Kämpfe beider betrachtet. Ein vorläufiges und sozusagen ideales Schema für die erworbene Tiefenwahrnehmung der raumhaltigen Netzhautbilder habe ich S. 43 u. 169 gegeben; jetzt werde ich das Schema für die ursprüngliche Tiefenwahrnehmung der Umrisse, d. h. der raumleeren und farblosen Linien und Punkte entwickeln.

Die ganze folgende Darstellung wird sich ausserordentlich vereinfachen lassen, wenn wir die Netzhäute als senkrecht zu den Gesichtslinien stehende Ebenen ansehen. Dadurch werden zwar allerhand kleine Fehler mit aufgenommen, so z. B. die Annahme, dass zwei senkrecht zur Blickebene liegende Parallelen

dem Einauge streng parallel erscheinen, was sie nicht thun, da sie vielmehr als zwei schwach gekrümmte Bogen erscheinen, und vieles A. m.: aber die Fehler sind sämmtlich klein, und ich behalte mir die spätere Eliminirung derselben vor. Ueberhaupt würde, wenn ich alle mir bekannten kleinen Abweichungen von dem im Folgenden Vorgebrachten berücksichtigen wollte, die Darstellung durch fortwährende Restrictionen unglaublich aufgehalten werden.

§ 117.

Vom identischen Tiefenwerthe der symmetrischen Netzhautstellen.

Wie ich früher ausführlich gezeigt habe, ist die Hälftungslinie des Convergenzwinkels der Gesichtslinien, also bei symmetrischen Augenstellungen die Medianlinie die gemeinsame Sehrichtung der Netzhautmitten. Bildet sich ein Aussenpunkt auf beiden Netzhautmitten ab, so erscheint er einfach auf dieser Hauptsehrichtung. Die scheinbare Ferne dieses Punktes innerhalb seiner Sehrichtung ist von allerlei, später noch ausführlicher zu erörternden Momenten abhängig. Den scheinbaren Ort aber, den dieses gemeinsame Bild beider Netzhautmittelpunkte einnimmt, habe ich als den Kernpunkt des Sehraums bezeichnet.

Auf beiden Netzhäuten entsprechen sich, wie ich ferner gezeigt habe, je zwei gleichliegende sogenannte identische Punkte derart, dass aus ihren Erregungen stets eine einfache, wenngleich im Wettstreite wechselnde Farbenempfindung entsteht, welche uns in einer ganz bestimmten, den beiden Netzhautpunkten gemeinschaftlich zukommenden Sehrichtung erscheint. Die Lage der letzteren relativ zur Hauptsehrichtung ist abhängig von der Lage der beiden Netzhautpunkte relativ zu den Netzhautmitten. Ich habe je zwei solche Netzhautpunkte als Deckstellen oder Deckpunkte der Doppelnetzhaut bezeichnet. Je zwei Deckpunkten kommt also eine identische Sehrichtung zu.

Da ein und derselbe Lichtreiz (Farbe) in einer andern Richtung empfunden wird, wenn er den Netzhautpunkt *a*, als wenn er den Punkt *b* betrifft, so folgt, dass der Lichtreiz in beiden Fällen verschieden auf das Sensorium wirkt; denn sonst könnte nicht das Ergebniss in beiden Fällen verschieden sein. Jede von einem beliebigen

Netzhautpunkte her im Sensorium ausgelöste Empfindung ist sozusagen gemischt aus einer Lichtempfindung und einem Raumgefühl, welches hier insbesondere, jedoch nur vorläufig, als Richtungsgefühl*) benannt werden soll. Mit einem und demselben Richtungsgefühl können sich also die verschiedensten Lichtempfindungen, und mit derselben Lichtempfindung die verschiedensten Richtungsgefühle mischen, je nachdem derselbe Netzhautpunkt nacheinander von verschiedenen Lichtreizen getroffen wird oder derselbe Lichtreiz verschiedene Netzhautpunkte erregt.

Eine von philosophischen Ansichten geleitete Physiologie hat die Raumgefühle, welche sich den von der Netzhaut ausgelösten anderweiten Empfindungen beimischen, als Localzeichen benannt, welche die »Seele« in den Stand setzen sollen, die Empfindung am entsprechenden Orte »vorzustellen«. Die empirische Physiologie jedoch hat bis jetzt keine Veranlassung die »Vorstellung« des Räumlichen mit der »Empfindung« des Räumlichen zu vertauschen, sondern sie bedient sich mit Vortheil beider Ausdrücke als zweier wohl unterschiedener Begriffe.

Da die gesonderte Reizung eines jeden von zwei Deckpunkten oder auch die gleichzeitige Reizung derselben in einer und derselben Richtung empfunden wird, oder da, wie ich sagte, zwei Deckpunkten eine gemeinschaftliche Sehrichtung zukommt, so folgt, dass die Reizung zweier Deckpunkte ein und dasselbe Richtungsgefühl auslöst. Dem Punktpaare a, α gehört sozusagen ein gemeinsames Richtungsgefühl A zu, dem Punktpaare b, β das Richtungsgefühl B etc.

Um nun nicht immer sagen zu müssen, die Reizung des Punktpaars a, α löst das gemeinsame Richtungsgefühl A aus, will ich kurz sagen, die Bilder des Punktpaares a, α haben (gemeinschaftlich und auch jedes für sich) den Richtungswerth A. Jedem Paar Deckpunkte kommt also ein gemeinschaftlicher Richtungswerth zu.

Zum Beweise des bis hierher Gesagten brauche ich für jetzt nichts hinzuzufügen; ich glaube hinreichend dargethan zu haben, dass das Vorstehende nichts Hypothetisches, sondern eine kurze Zusammenfassung des Thatsächlichen ist. Nur die Bezeichnung »Raum-

*) Man stosse sich nicht an diese sonderbare Bezeichnung. Ich führe dieselbe hier nur interimistisch ein, um sie in § 124 wieder zu eliminiren.

fühle« bedürfte noch weiterer Begründung, welche ich auch
iter zu geben gedenke. Für jetzt mag man sie immerhin nur für
llkürlich gewählt halten und ihnen das Wort Localzeichen substi-
.ren: das Folgende verliert dadurch, wie ich glaube, nicht an Ver-
ndniss.

Durch die Richtungsgefühle wird jeder von der Netzhaut her
sgelösten Lichtempfindung zwar eine bestimmte Richtung angewie-
ı, aber der Ort innerhalb dieser Richtung bleibt hierbei noch völ-
unbestimmt. Gleichwohl ist, wie im Folgenden ausführlicher
chgewiesen werden wird, selbst bei Ausschluss aller in der Erfah-
ıg begründeten Motive, auch der Ort, an welchem das Licht em-
ınden, d. h. gesehen wird, ursprünglich ein bestimmter, durch
wisse, der Lichtempfindung beigegebene Raumgefühle bedingter.
:nn ausser den Richtungsgefühlen, oder um mich so auszudrücken,
sser den Richtungswerthen, welche den einzelnen Netzhautpunk-
ı zugetheilt sind, existirt noch ein zweites System von Raumge-
ılen oder sozusagen von Tiefenwerthen. Jeder einzelnen Netz-
utstelle kommt nicht nur ein von ihr auslösbares Richtungsgefühl,
ıdern auch ein Tiefengefühl zu, nur dass die Tiefenwerthe
ız anders über die Netzhaut vertheilt sind, als die Richtungswerthe,
ınlich nicht, wie diese, gleichsinnig, sondern gegensinnig oder
ımmetrisch.

Man erinnere sich, dass ich, gegenüber der üblichen Einthei-
ıg der Netzhaut nach Meridianen und Parallelkreisen, eine andere
ntheilung nach Längs- und Querschnitten angenommen habe.
:nken wir uns die Netzhaut als Ebene, so stellt jeder, der verti-
len Trennungslinie parallel geführte Schnitt einen Längsschnitt,
ler, der horizontalen Trennungslinie parallele Schnitt einen Quer-
ınitt dar.

Symmetrisch gelegene Längsschnitte der Doppel-
:tzhaut haben identische Tiefenwerthe, d. h. Reizung
eier symmetrisch gelegener Punkte der Doppelnetzhaut löst neben
n bezüglichen Lichtempfindungen und Richtungsgefühlen ein und
sselbe Tiefengefühl aus und die bezüglichen Lichtqualitäten werden
mnach zwar in verschiedenen Richtungen, aber in einer und der-
.ben Tiefe, d. h. in einer und derselben Entfernung empfunden,
sehen.

Auf diesen den Lichtempfindungen beigegebenen Tiefenwerthen oder Tiefengefühlen beruht das binoculare Tiefsehen, d. h. das primitive, lediglich durch die Raumgefühle der Netzhaut bedingte Sehen nach der sogenannten dritten Dimension.

Wenn wir, um die Sache übersichtlicher zu machen, den oben als Kernpunkt bezeichneten Ort des subjectiven Raumes als Ausgangspunkt für die Bestimmung der scheinbaren Nähe oder Ferne eines gleichzeitig gesehenen zweiten Punktes annehmen und demnach seinen Tiefenwerth = 0 setzen, so können wir Allem, was näher erscheint als der Kernpunkt des Sehraumes, einen gewissen Nahwerth, allem ferner Erscheinenden einen gewissen Fernwerth zuschreiben, welche Werthe sich wie — und + zueinander verhalten, daher wir die Nahwerthe als negative Fernwerthe bezeichnen können.

Nach dem Gesagten kommt den auf den beiden vertikalen Trennungslinien oder mittlern Längsschnitten gelegenen Punkten oder Linien, weil sie symmetrisch liegen, ein und derselbe Tiefenwerth (= 0) zu, womit ausgesagt ist, dass sie sämmtlich in einer und derselben Entfernung, d. h. auf einer zur Blickebene senkrechten, durch den Kernpunkt des Sehraumes gehenden Linie gesehen werden.

Die Deckpunktpaare der beiden mittlen Längsschnitte sind nun aber, wie gesagt, die einzigen Deckpunkte, welchen ein gleicher Tiefenwerth zukommt, weil sie zugleich symmetrische Punkte sind. Gehen wir über zu zwei beliebigen andern, z. B. auf den rechten Netzhauthälften gelegenen identischen Längsschnitten, so sind dieselben nicht zugleich symmetrische, sondern der eine Längsschnitt liegt auf der linken Netzhaut um ebensoviel nach innen vom mittlen Längsschnitt, als der ihm identische auf der rechten Netzhaut nach aussen liegt. Dem entsprechend kommen diesen beiden identischen Längsschnitten, wie wir sehen werden, entgegengesetzte Tiefenwerthe zu, nämlich dem auf der innern Hälfte der linken Netzhaut liegenden ein bestimmter, von seinem Abstand vom mittlen Längsschnitt abhängiger positiver Tiefenwerth oder Fernwerth, dem auf der äussern Hälfte

der rechten Netzhaut und mit dem ersteren identisch liegenden ein negativer Tiefenwerth oder Nahwerth von derselben Grösse zu.

Fällt also auf diese beiden rechtseitigen Längsschnitte das Bild einer Linie, so erscheint dieselbe, da ihren beiden Bildern ein gemeinsamer Richtungswerth zukommt in der Sehrichtungsebene jenes Längsschnittpaares, und zwar könnte man nach den verschiedenen Tiefenwerthen der beiden Bilder erwarten, dass sie doppelt, in zwei hintereinander liegenden Bildern erschienen, deren eines um ebensoviel diesseits des Kernpunktes läge, als das andere jenseits, entsprechend ihrem entgegengesetzten Tiefenwerthe. Da aber die gleichzeitige Reizung identischer Stellen stets nur eine einfache Licht- und Raumempfindung auslöst, so muss sich der positive Tiefenwerth mit dem gleichgrossen negativen Tiefenwerthe, d. h. der Fernwerth des einen Bildes mit dem Nahwerth des andern zu dem Tiefenwerth *0* ausgleichen*), womit ausgedrückt ist, dass die Linie uns in gleicher Entfernung erscheinen wird, wie eine zu gleicher Zeit auf den beiden mittlen Längsschnitten abgebildete, nämlich auf einer im Kernpunkte des Sehraumes senkrecht zur Blickebene stehenden Ebene.

Ganz allgemein lässt sich dies Verhältniss dahin bezeichnen, dass alle auf Deckstellen abgebildeten Linien oder Punkte auf einer durch den scheinbaren Ort des Fixationspunktes gehenden, senkrecht zur Blickebene stehenden Ebene erscheinen, so fern alle andern Motive zur Localisirung nach der dritten Dimension ausgeschlossen sind und allein die rein primitiven Raumgefühle in Wirksamkeit treten.

Diese Ebene, in der alles auf Deckstellen Gelegene gemäss der primitiven Raumgefühle der Netzhaut erscheint, soll die Kernfläche des Sehraumes heissen.

Alle ausserhalb des Totalhoropters gelegenen Aussenpunkte bilden sich auf disparaten**) Netzhautpunkten ab. Wenn letztere cor-

*) Hierbei ist, wie überall im zunächst Folgenden, vorausgesetzt, dass die beiden Tiefenwerthe eines Deckstellenpaares gleichen Antheil an der Erzeugung des gemeinsamen Tiefenwerthes haben, d. h. dass nicht im Wettstreite der Netzhäute der eine Tiefenwerth vor dem andern im Vortheil ist (vergl. § 121 u. 122).

**) Ich werde mit FECHNER disparate Punkte zwei nicht correspondirende

respondirenden Längsschnitten angehören, und also der Aussenpunkt im Längshoropter liegt, so erhalten die beiden disparaten Bilder, wie erwähnt, gleich grosse, aber entgegengesetzte Tiefenwerthe. Da nun beim gewöhnlichen Sehen die Doppelbilder nicht als solche zur Wahrnehmung kommen, vielmehr für einfach genommen werden, so bekommt ein solches einfach gesehenes Doppelbild einen mittlen Tiefenwerth, welcher also in diesem Falle gleich 0 ist, da die gleichgrossen aber entgegengesetzten Tiefenwerthe der beiden Einzelbilder sich aufheben.

Demnach erscheinen die Punkte des Längshoropters, sofern sie wie gewöhnlich einfach gesehen werden, ebenfalls auf der Kernfläche des Sehraumes.

Liegt aber der Aussenpunkt nicht im Längshoropter, so fallen seine beiden Bilder auch auf disparate Längsschnitte, welche entweder beide entsprechenden Hälften der Netzhäute angehören (einseitige Doppelbilder), oder aber auf entgegengesetzten Netzhauthälften liegen (doppelseitige Doppelbilder). In beiden Fällen bekommt ein solches einfach gesehenes Doppelbild einen Tiefenwerth, welcher in der Mitte liegt zwischen den beiden Tiefenwerthen seiner Einzelbilder, d. h. das arithmetische Mittel derselben ist. Demnach erscheint jeder ausserhalb des Längshoropters gelegene Punkt, wenn er wie gewöhnlich einfach gesehen wird, ausserhalb der Kernfläche des Sehraumes, diesseit oder jenseit derselben, je nachdem das arithmetische Mittel der beiden Tiefenwerthe seiner Einzelbilder positiv oder negativ ausfällt; und zwar entspricht die Grösse seines Abstandes von der Kernfläche der Grösse des arithmetischen Mittels der beiden Tiefenwerthe, welche Grösse wieder abhängig ist von der Verschiedenheit des Abstandes der beiden Einzelbilder vom mittlen Längsschnitte, d. h. also abhängig von der Grösse der Disparation der beiden, die Einzelbilder tragenden Längsschnitte.

Alles dies gilt nur unter der doppelten Voraussetzung, dass man die Doppelbilder nicht, wie dies der Geübte vermag, als doppelt unterscheide, d. h. in ihre Bestandtheile zersetze, und dass die Tie-

(identische) Punkte der Doppelnetzhaut, differente Punkte aber zwei verschiedene Punkte einer und derselben Netzhaut nennen.

fenwerthe der beiden Einzelbilder eines Doppelbildes nicht durch den Wettstreit der Netzhäute beeinträchtigt werden: zwei Störungen welche beim gewöhnlichen Sehen, oder sozusagen beim Sehen des gemeinen Mannes wegen der grossen Beweglichkeit der Augen nicht besonders hervortreten. Endlich wird noch im Obigen vorausgesetzt, dass nur die ursprünglichen Raumgefühle und nicht die erworbenen Motive des Tiefsehens die Localisation bestimmen.

Soviel zur allgemeinen Uebersicht. Was die experimentellen Belege und die weitere Ausführung betrifft, so findet man solche im Folgenden. Es wird sich hierbei zeigen, dass die hier entwickelten Sätze nicht eine vage Hypothese, sondern eine wohlbegründete Theorie ausmachen, d. h. eine aus einem einfachen Princip fliessende Entwicklung der allgemeinen Gesetze, welche das primitive, noch nicht durch Erfahrung etc. beeinflusste Raumsehen beherrschen. Drei Sätze sind es insbesondere, die den wesentlichen Inhalt dieser Theorie ausmachen.

1) Auf Deckpunkte fallende gleiche oder verschiedene Lichtreize lösen stets nur eine einfache Lichtempfindung aus.*)
2) Deckpunkte haben identische Sehrichtung.
3) Gegenpunkte (symmetrische Punkte) haben identische Sehtiefe.

Wer den Ausdruck »Localzeichen« vorzieht, kann die beiden letzten Sätze so ausdrücken: Es besteht ein doppeltes System von Localzeichen, das eine ist gleichsinnig (congruent), das andere gegensinnig (symmetrisch) auf den Netzhäuten vertheilt; das eine bestimmt die Sehrichtung, das andere die Tiefe der Bilder; sogenannte identisch liegende Bildpunkte haben daher dieselbe scheinbare Richtung, symmetrisch liegende Bildpunkte dieselbe scheinbare Ferne relativ zum Ich.

Der eigentliche Kern der Theorie wird jedoch erst in § 124 zu Tage kommen.

---

*) Dass wir in zahllosen Fällen mit identischen Netzhautpartieen doppelt (hintereinander) sehen, trotzdem dass wir mit ihnen nur einfach empfinden, habe ich schon früher wiederholt erörtert.

§ 118.

Alle in einem Partialhoropter gelegenen unbegrenzten Geraden und alle im Totalhoropter gelegenen Punkte erscheinen nothwendig einfach und zwar ursprünglich auf der Kernfläche des Sehraumes. *)

Wie in § 100 gezeigt ist, giebt es eine unendliche Zahl geradliniger Partialhoropteren, d. h. Flächen zweiten Grades, welche dadurch ausgezeichnet sind, dass jede auf ihnen gelegene gerade Linie sich auf identischen Netzhautschnitten abbildet. Hat nun eine solche Linie keinen sichtbaren Endpunkt, welcher als solcher ein Doppelbild geben kann, so muss die Linie dem Gesagten zufolge, wenn alle anderweiten Motive des Tiefsehens ausgeschlossen sind, einfach auf der Kernfläche des Sehraumes erscheinen. Da jeder Partialhoropter sich ansehen lässt als ein System gerader Linien, so folgt, dass es zahllose derartige Systeme von Linien im Aussenraume giebt, welche trotz ihrer ganz verschiedenen Lage doch sämmtlich auf der Kernfläche des Sehraumes erscheinen, sofern allein die ursprünglichen Raumgefühle wirksam sind.

Liniensysteme also, von der Form eines Cylinders, Kegels, einschaligen Hyperboloids etc., welche wieder im Ganzen sehr verschiedene relative Lage zur Blickebene haben können, erscheinen unter den erwähnten Umständen auf der Kernfläche als ebene Sterne, sei es dass der Mittelpunkt des Sternes, d. h. der scheinbare Kreuzungspunkt aller Linien, selbst sichtbar ist, sei es dass er zu excentrisch liegt, um sichtbar zu sein, sei es endlich, dass er unendlich fern liegt, d. h. dass sämmtliche Linien als Parallelen auf der Kernfläche erscheinen.

Letzterer Fall verdient noch besondere Berücksichtigung. Er tritt ein bei Linien, welche sich parallel einem Netzhautmeridiane abbilden, welche also auf einem Partialhoropter gelegen sind, der durch zwei entsprechende äquatorialaxige Ebenenbüschel erzeugt wird. Denn alle Ebenenbüschel, deren Axen in der Aequatorialebene des Auges liegen, durchschneiden die Netzhautebene in Linien,

*) Es wird hierbei und im ganzen folgenden § angenommen, dass die Tiefenwerthe zweier identischer Punkte gleichen Antheil an der Erzeugung des Tiefenwerthes haben, welchen ihr gemeinsames Bild zeigt.

welche sowohl einander, als einem Netzhautmeridiane parallel sind. Zu diesen besonderen Partialhoropteren gehören auch der Längs- und Querhoropter.

W e n n a l s o e i n e g e r a d e L i n i e o h n e s i c h t b a r e n E n d p u n k t i n e i n e m P a r t i a l h o r o p t e r l i e g t, g l e i c h v i e l w i e s i e s o n s t g e l e g e n i s t, s o e r s c h e i n t s i e e i n f a c h i n d e r K e r n f l ä c h e d e s S e h r a u m e s, d. h. b e i s y m m e t r i s c h e r A u g e n s t e l l u n g i n e i n e r z u r M e d i a n l i n i e s e n k r e c h t e n E b e n e.

a) Blickt man bei horizontaler Blickebene binocular durch eine Röhre (von wenigen Zollen Länge und einem die Augendistanz etwas übertreffenden Durchmesser) nach einer gleichfarbigen Wand, und lässt von einem Gehülfen einen feinen geraden Draht in der Medianebene nahe vor die Röhrenöffnung halten, fixirt f e s t die markirte Mitte des Drahtes und lässt denselben solange innerhalb der Medianebene um seine Mitte drehen, bis er senkrecht erscheint; so zeigt sich, dass seine wirkliche Richtung stets sehr annähernd der Richtung des Längshoropters folgt, d. h. trotzdem dass der Draht uns senkrecht zur Blickebene zu stehen scheint, ist er vielleicht sehr stark zur Blickebene geneigt, um so mehr, je stärker wir den Kopf bei dem Versuche vor- oder zurückgebeugt haben. Ersterenfalls wird der Draht mit dem untern, letzternfalls mit dem obern Ende dem Gesichte näher sein müssen, sofern er vertikal erscheinen soll. Man darf jedoch nicht erwarten, dass die Lage des Drahtes immer g a n z g e n a u mit der berechneten stimmen soll; denn selbst beim feinsten Drahte kommt noch die Perspective und mancherlei Erfahrung über derartige Täuschungen in Betracht. Ich lege deshalb nur auf die Art und relative Grösse, nicht auf das absolute Maass der Fehler Gewicht.

Der beschriebene Versuch erklärt mancherlei häufig vorkommende Täuschungen. Stellt man Jemand die Aufgabe, mit aufrechtem, vor- oder s t a r k zurückgebeugtem Kopfe und horizontaler Blickebene eine sehr nahe vor's Gesicht gehaltene feine, in ihrer markirten Mitte fixirte Stricknadel vertikal zu stellen, so wird er sie in den meisten Fällen schief stellen, und der Fehler wird stets der Lage des Längshoropters (hier insbesondere auch der Geraden des Totalhoropters) annähernd entsprechen.

Natürlich gehört zu allen solchen Versuchen, dass man nicht lange reflectire; denn oft findet man schliesslich noch irgendwelchen Anhalt, um seinen Irrthum zu erkennen und, dem unbefangenen sinnlichen Eindruck zuwider, zu corrigiren.

b) Bringt man eine Reihe feiner Fäden oder Drähte in einer halben Cylinderfläche an, stellt sie ungefähr senkrecht zur Blickebene, mit der Concavität nach dem Gesichte, fixirt den mittlen in der Medianebene und im Längshoropter liegenden Draht und nähert dann das System den Augen, so wird die Cylinderfläche scheinbar flacher und flacher, bis sie endlich zur Ebene wird, wenn das ganze System im Längshoropter liegt. Natürlich gelingt der Versuch nur dann gut, wenn der Längshoropter eben ein Cylinder und nicht ein Kegel ist. Man ersieht dies daraus, dass die Fäden parallel erscheinen, und kann die richtige Lage der Blickebene leicht durch Probiren finden.

Man kann zu diesem Versuche gewissermassen die Gegenprobe machen. Erscheint nämlich für convergente Augen ein System paralleler Fäden nur dann als ein ebenes System paralleler Vertikallinien, wenn es in Wirklichkeit im cylindrischen Längshoropter liegt, so kann ein ebenes oder schwächer als der Längshoropter gekrümmtes Liniensystem nie eben erscheinen, wenn man es in der Nähe betrachtet. Man bringe deshalb eine Reihe paralleler Fäden in einer Ebene an, stelle diese Ebene senkrecht zur Medianebene, und so, dass ein Faden in letzterer und im Längshoropter liegt, und fixire diesen Faden, so wird man, falls der Längshoropter eben ein Cylinder ist, die Fäden in Form einer Cylinderfläche angeordnet sehen, welche dem Gesichte die Convexität zukehrt. Diese Convexität ist um so stärker, je näher das Liniensystem dem Gesichte liegt. Natürlich sind alle diese Täuschungen beim Kurzsichtigen am eclatantesten, weil die Krümmung des Längshoropters mit der Nähe des Fixationspunktes wächst.

Ich habe übrigens bemerkt, dass die Fläche eines genau im Längshoropter liegenden Liniensystems immer noch eine kleine Krümmung zeigt, die freilich gar nicht zu vergleichen ist mit ihrer wirklichen, viel stärkeren, sodass das Wesen des Versuchs hierdurch nicht alterirt wird. Ueber die wahrscheinlichen Ursachen dieser Entscheidung später.

Helmholtz giebt an, drei in einer ganz schwach gekrümmten Cylinderfläche stehende Nadeln würden dann am sichersten als nicht in einer Ebene liegend gesehen, wenn die Krümmung der Cylinderfläche der Richtung des Horopterkreises folge, d. h. also, wenn die drei Nadeln im Längshoropter liegen. Indess überzeugt man sich bei genauerem Studium dieses schon früher vielfach zur Feststellung des Horo-

pters benutzten Versuches sehr leicht, dass man die Krümmung der Cylinderfläche bis zu einer gewissen natürlichen Grenze um so besser erkennt, je weiter die beiden seitlichen Nadeln ausserhalb, d. h. hier diesseit des Längshoropters liegen. Wie gesagt, erscheinen die im Längshoropter selbst liegenden Linien ziemlich genau als in einer Ebene liegend, d. h. also, man verkennt hierbei ihre wirkliche Lage. Entfernt man nun ein solches cylindrisches Liniensystem (unter fortwährender Fixation der mittleren Linie) mehr und mehr vom Gesichte, so wird die Krümmung des Längshoropters immer flacher, während die Krümmung des Nadelsystems dieselbe bleibt. Die seitlichen Nadeln kommen also diesseits des Längshoropters zu liegen, und rücken um so mehr von letzterem ab, je weiter der Fixationspunkt und damit das ganze System entfernt wird. Dem entsprechend erscheint die Krümmung des Liniensystems immer schroffer bis zu einer gewissen gesetzlichen Grenze der Entfernung. Es gilt also im Wesentlichen das Gegentheil von dem, was Helmholtz über diesen Versuch angegeben hat.

Helmholtz ist es andererseits nicht entgangen, dass bei diesem Versuche »eine eigenthümliche Gesichtstäuschung« eintreten kann; aber er scheint sich keine Rechenschaft von deren Ursache gegeben zu haben. Er sagt: »Es ist bei diesen Versuchen rathsam, die äussern Nadeln nicht zu weit von der mittleren zu entfernen, sonst tritt eine eigenthümliche Gesichtstäuschung ein, welche zu Irrthümern verleiten kann; man hält nämlich dann einen Bogen, dessen Krümmung etwa der des Horopterkreises entspricht, für eine gerade Linie; eine gerade Linie dagegen für convex gegen den Beobachter, einen convexen Bogen derart für convexer als er ist. Doch wird durch diese Gesichtstäuschung die Unterscheidbarkeit der concaven und convexen Seite des Bogens der drei Nadeln, worauf es in dem beschriebenen Versuche ankommt, nicht beeinträchtigt.« Dies ist also richtig bis auf die letzte Bemerkung; denn man kann die Täuschung leicht so weit treiben, dass ein schwach concaver Bogen convex erscheint, wodurch dann die Ansicht von Helmholtz schlagend widerlegt wird. Die Erklärung aller dieser Erscheinungen liegt darin, dass die wirklich im Längshoropter gelegenen Geraden in der Kernfläche des Sehraumes, d. h. ziemlich genau in einer Ebene, alle jenseit des Längshoropters gelegenen aber jenseit, alle diesseit gelegenen diesseit der Kernfläche erscheinen. Wenn nun der Längshoropter ein Cylinder ist, während doch die Kernfläche eine Ebene ist, so erklärt sich die Disharmonie zwischen Sein und Schein (vergl. § 119 u. 120).

c) Bei stark nach oben oder unten geneigter Blickebene ist, wie ich zeigte, der Längshoropter ein Kegel. Auch dies lässt sich empirisch nachweisen. Blickt man mit stark vor- oder rückwärts geneigtem Kopfe und horizontaler Blickebene durch die oben erwähnte Röhre und lässt zunächst in beschriebener Weise einem in der Medianebene befindlichen Drahte die scheinbar vertikale Stellung geben,

fixirt dann fest diesen Draht und lässt einem zweiten, indirect gesehenen geraden Draht ebenfalls eine scheinbar vertikale Stellung und dieselbe scheinbare Entfernung geben, welche der fixirte Draht zeigt: so ergiebt sich, dass der zweite Draht dem ersten weder parallel ist, noch mit ihm in derselben Ferne liegt. Vielmehr convergiren beide bei vorwärts geneigtem Kopfe nach unten, bei rückwärts geneigtem nach oben, und in beiden Fällen liegt der indirect gesehene Draht dem Gesichte merklich näher, wenn irgend die Convergenz der Gesichtslinien erheblich ist. Lässt man in der beschriebenen Weise mehrere indirect gesehene Drähte anbringen, so sieht man deutlich, dass sie eine Kegelfläche einnehmen, während sie doch sämmtlich parallel in einer und derselben, zur Blickebene vertikalen Ebene, d. h. in der Kernfläche erscheinen.

Ich habe hier aus der unendlichen Zahl der Partialhoropteren den Längshoropter zur näheren Untersuchung herausgegriffen. Wir würden auch jeden anderen Partialhoropter benutzen können; nur ist die Lage des Längshoropters besonders leicht zu übersehen, und hat derselbe ausserdem noch besondere praktische Bedeutung.

Ein anderer Partialhoropter, mit dem sich leicht arbeiten lässt, ist der Meridianhoropter. Es freut mich, hier anführen zu können, dass v. Recklinghausen*) diesen Partialhoropter schon in ganz analoger Weise untersucht hat, wie ich dies oben mit dem Längshoropter gethan habe, und dass dieser treffliche Beobachter genau zu denselben Resultaten gekommen ist. Er wies nach, dass, bei symmetrischer Augenstellung, durch den Fixationspunkt gehende gerade Linien uns nur dann als in einer zur Medianlinie senkrechten Ebene (d. i. also die Kernfläche) zu liegen scheinen, wenn sie in Wirklichkeit im Meridianhoropter liegen, und dass daher, wenn letzterer ein Kegel ist, eine Anzahl sich im Fixationspunkte kreuzender Linien uns als ein ebener Stern erscheinen, wenn sie in dieser Kegelfläche liegen.

v. Recklinghausen knüpft jedoch mancherlei unrichtige Betrachtungen an seine richtigen Beobachtungen. Er meint, der Meridianhoropter erlange hierdurch eine ganz besondere Bedeutung, während es doch zahllose Flächen giebt, welche genau die analoge Bedeutung haben. v. Recklinghausen nannte den Meridianhoropter »Normalfläche« und gab an: »wir verlegen die Punkte dieser Fläche im Raume

*) Archiv f. Ophthalmol. Bd. V. Abth. II. S. 125.

diesseits oder jenseits derselben, entsprechend der Grösse ihres Abstandes von derselben.« Hierbei würde also die »Normalfläche« eine doppelte Rolle spielen, einmal im objectiven, wirklichen Raume, zweitens im subjectiven oder Sehraume. Hat nun v. RECKLINGHAUSEN, wie ich glaube, gemeint, dass die objective Normalfläche (d. i. der Meridianhoropter) verschiedene Gestalten annehmen könne, während doch die subjective Normalfläche (d. i. die Kernfläche) immer eine Ebene sei, und dass die ausserhalb des Meridianhoropters gelegenen Punkte im Sehraume ähnliche räumliche Relationen zur Kernfläche zeigen, wie im wirklichen Raume zum Meridianhoropter, so wäre damit mancherlei Richtiges gesagt. Aber wirklich zutreffend, und allgemein gültig ist diese Behauptung keineswegs, wie aus dem Folgenden zur Genüge hervorgehen wird. Jeder andere Partialhoropter könnte mit demselben Rechte Normalfläche genannt werden. Diejenige Bedeutung aber für das Tiefsehen, welche, wie mir scheint, v. RECKLINGHAUSEN dem Meridianhoropter zuschreiben möchte, kommt einzig und allein dem Längshoropter zu, wie im folgenden § gezeigt werden soll. Ueberdies hat die doppelte unrichtige Annahme, dass die Richtungslinien die Sehrichtungen seien, und dass das stereoskopische Sehen sich aus Veränderungen der Convergenz der Sehaxen erkläre, viele Widersprüche in die sonst so treffliche Arbeit v. RECKLINGHAUSEN's gebracht.

Wenn man auf beiden Netzhäuten identische Curven zieht und jede von zwei solchen identischen Curven als Leitlinien eines Kegels ansieht, dessen Mittelpunkt (Spitze) im Kreuzungspunkte der Richtungslinien liegt, so ergiebt sich als Durchschnittslinie dieser beiden Kegel eine Curve im Raume, die sich identisch abbildet und daher einfach gesehen wird, als eine ebene Curve auf der Kernfläche des Sehraumes. Aus einer Schaar solcher Curven im Raume ergeben sich dann gekrümmte Flächen, welche dadurch ausgezeichnet sind, dass jede auf ihnen gelegene Curve aus der Schaar der die Fläche erzeugenden einfach und als eine ebene Curve in der Kernfläche erscheint, sofern sie keine sichtbaren Endpunkte hat, also entweder in sich geschlossen ist oder über den sichtbaren Raum hinausgeht. Eine solche Fläche würde z. B. die von HELMHOLTZ als Circularhoropter bezeichnete Fläche vierten Grades sein (s. § 106.), wenn es, wie man zeither annahm, und für meine Augen sehr nahezu richtig ist, identische Parallelkreise giebt.*) Man sieht also, dass Linien von der

*) Nach den neuerdings von HELMHOLTZ gemachten Annahmen über die Lage der identischen Stellen würde an Stelle des Systemes von Parallelkreisen ein System sphärischer Kegelschnitte treten, und diese beiden Systeme des Doppelauges würden ebenfalls unter sich projectivisch sein, sodass wir mit ihrer Hülfe

allerverschiedensten Gestalt und Lage im Raume streng einfach gesehen werden können, und dass für gerade und krumme Linien die Horopteren unendlich zahlreich sind. Ganz anders verhält es sich mit Punkten.

Eine analoge Rolle wie die Linien eines Partialhoropters spielen die Punkte des Totalhoropters. Sie erscheinen sämmtlich einfach auf der Kernfläche des Sehraumes. Im Allgemeinen ist der Totalhoropter, wie gezeigt wurde, linear. Könnte man also in der Horopterlinie eine Reihe feiner Punkte anbringen, so würde uns eine solche Punktreihe im Allgemeinen als ein ebener Kegelschnitt erscheinen, an dessen Stelle bei symmetrischen Augenstellungen zwei gerade, sich schneidende Linien treten würden.

Dass bei symmetrischer Augenstellung eine fixirte, in der Medianebene gelegene Gerade uns bei Ausschluss anderweiter Motive in der Kernfläche des Sehraumes, d. h. also senkrecht zur Blickebene erscheint, wenn sie im Totalhoropter liegt, gleichviel ob sie in Wirklichkeit zur Blickebene so oder so geneigt ist, wurde schon im Versuche *a*. erläutert.

d. Bringt man bei Augenstellungen ohne Raddrehung in die Blickebene und zwar in den MÜLLER'schen Horopterkreis auf feinen Drähten steckende Kügelchen, so scheinen diese, wenn man eines fixirt, annähernd in einer geraden Linie zu liegen. Ordnet man sie aber von vornherein auf einer geraden, dem Gesicht parallelen Linie an, so scheinen sie bei starker Convergenz der Gesichtslinien einen nach dem Gesichte convexen Bogen zu bilden. Man kann auch auf einen feinen schwarzen Draht weisse Kügelchen reihen und durch Krümmen des Drahtes ganz die analogen Versuche ermöglichen, wie sie unter *b*. für den Längshoropter beschrieben wurden.

Liegen die Gesichtslinien symmetrisch parallel, so ist der Totalhoropter dann eine Ebene, wenn die correspondirenden Richtungslinien nicht congruent, sondern nur projectivisch angeordnet sind (wie dies HELMHOLTZ annimmt) und wenn zugleich die horizontalen Trennungslinien in der Blickebene liegen (siehe S. 246). Letzteres ist jedoch bei mir (s. § 128) und bei den vier Personen, welche später VOLKMANN darauf untersuchte, nicht der Fall, wenigstens nicht bei

zwei projectivische Kegelbüschel construiren könnten, die eine dem »Circularhoropter« analoge Fläche erzeugen würden.

aufrechtem Kopfe und horizontaler Blickebene. HELMHOLTZ sagt jedoch, dass es für seine Augen zutreffe, und nimmt ohne Beweis dieses Verhalten für allgemein gültig an, obwohl dieser Annahme meine und VOLKMANN's Beobachtungen entgegenstehen.

Wie dem auch sei, sofern der Totalhoropter eine Ebene ist, werden alle in ihm gelegenen Linien und Punkte, bei Ausschluss der erworbenen Motive der Localisation, auf der zur Blickebene senkrechten Kernfläche erscheinen. Fiele nun, wie HELMHOLTZ für seine Augen annimmt, die Ebene des Totalhoropters bei der erwähnten Augenstellung mit der Fussbodenfläche zusammen, so würde uns der gesammte Fussboden als eine zur Blickebene senkrechte Ebene erscheinen müssen, wenn dies nicht durch die erworbenen Motive des Tiefsehens verhindert würde. Die entgegenstehende Ansicht von HELMHOLTZ wird unten widerlegt werden. Uebrigens ist HELMHOLTZ bis jetzt der Einzige, dessen Totalhoropter bei parallel und horizontal geradausgestellten Augen mit der Fussbodenfläche zusammen fällt. Für mich ist es nicht entfernt der Fall; für VOLKMANN und die drei von ihm untersuchten Herren auch nicht.

Bei allem in diesem § Erörterten ist nun aber Folgendes wohl zu bedenken: Alles, was gemäss den ursprünglichen Raumwerthen der Netzhautbilder auf der Kernfläche des Sehraumes zu erscheinen hat, verfällt noch ausserdem den zahllosen Motiven des erworbenen Tiefsehens, d. h. gerade so, wie wir eine Landschaft, ein Zimmer etc. in eindringlicher Weise auch mit nur einem Auge nach der Dimension der Tiefe ausgearbeitet sehen, gerade so kann das beim Binocularsehen ursprünglich auf die Kernfläche des Sehraumes Angewiesene in der allerverschiedensten Weise nach der Dimension der Tiefe ausgebreitet werden. Der gesammte bildliche Inhalt der Kernfläche des Sehraumes, welche ursprünglich eine (zur Blickebene verticale) Ebene ist, kann unter dem Einflusse der Motive des erworbenen Tiefsehens der allerverschiedensten Auslegung nach der Dimension der Tiefe unterliegen. Daher die Kernfläche des gewöhnlichen Sehens meist keine Ebene, sondern eine Fläche von verwickelter Gestalt ist.

§ 119.

Alle im Längshoropter gelegenen Punkte erscheinen ursprünglich einfach in der Kernfläche des Sehraumes.

Jeder Punkt des Längshoropters giebt, wenn er nicht zugleich im Totalhoropter liegt, ein Doppelbild, welches auf correspondirenden Längsschnitten, aber auf disparaten Querschnitten liegt. Seinen beiden Bildern kommen also verschiedene, aber in einer und derselben Längsebene des Sehraumes gelegene Sehrichtungen und gleichgrosse aber entgegengesetzte Tiefenwerthe zu. Wird nun, wie beim gewöhnlichen Sehen geschieht, das Doppelbild nicht in seine beiden Einzelbilder, die ich Trugbilder nenne, aufgelöst, sondern erscheint es nur als ein Bild, so erhält es eine Sehrichtung, welche in der Mitte liegt zwischen den Sehrichtungen seiner beiden Einzelbilder, und einen mittlen Tiefenwerth, welcher hier gleich 0 sein muss, da gleichgrosse aber entgegengesetzte Tiefenwerthe sich aufheben müssen. Hierbei wird natürlich vorausgesetzt, dass beide Bilder mit ihrem vollen Tiefenwerth zur Geltung kommen und nicht durch den Wettstreit der Netzhäute hierin beeinträchtigt werden (vergl. § 122).

Demnach erhalten die unaufgelösten Doppelbilder aller dem Längshoropter angehörigen Punkte den Tiefenwerth 0, d. h. sie werden in gleicher Entfernung, wie die Bilder der Netzhautmitten, nämlich auf der Kernfläche des Sehraumes gesehen. Es lässt sich also der Längshoropter auch definiren als der Ort derjenigen Einzelpunkte, welche ursprünglich in gleicher Tiefe wie der fixirte Punkt gesehen werden.

Ich habe hier nicht nöthig, diesen Satz experimentell zu beweisen. Aus den sogenannten stereoskopischen Versuchen z. B. ist zur Genüge bekannt, dass »übereinander liegende« Doppelbilder, wenn sie »stereoskopisch verschmolzen« werden, nicht aus der Ebene des Papieres heraustreten, d. h. also in derselben Tiefe wie der Kernpunkt des Sehraumes erscheinen.

Eine weitverbreitete, besonders von Volkmann vertretene Annahme ist, dass übereinander liegende Doppelbilder leichter als doppelt unterschieden oder, wie Volkmann sagt, schwerer »verschmolzen« würden, als schräg oder gar horizontal nebeneinander gelegene. Ich kann dieser Ansicht nicht beipflichten. Auch hat nie Jemand einen Beweis

für dieselbe beigebracht. Denn die zahlreichen Messungen VOLKMANN's und ähnliche Untersuchungen Anderer beweisen nur, dass es schwer ist, fest zu fixiren. Die Messungen würden nur beweisend sein, wenn sie bei Momentanbeleuchtung gemacht wären. Man hat eigentlich mehr die Mangelhaftigkeit der Fixation, als die »Verschmelzungsfähigkeit« der Doppelbilder unter verschiedenen Umständen gemessen.

§ 120.

Alle ausserhalb des Längshoropters gelegenen Punkte und alle ausserhalb der Partialhoropteren gelegenen unbegrenzten Geraden erscheinen ausserhalb der Kernfläche des Sehraumes.

Alle nicht im Längshoropter gelegenen Punkte geben Doppelbilder, welche auf mehr oder weniger disparaten Längsschnitten liegen, also stets Tiefenwerthe haben, deren Mittelwerth nicht gleich 0 sein kann. Am ausgesprochensten ist dies Verhalten bei den im Querhoropter gelegenen Punkten, da dieser Partialhoropter gewissermassen der Gegensatz des Längshoropters ist. Alle Punkte des Querhoropters geben, wenn sie nicht zugleich dem Totalhoropter angehören, Bilder, welche auf correspondirenden Querschnitten, aber disparaten Längsschnitten liegen, so dass sie nie gleichgrosse und zugleich entgegengesetzte Tiefenwerthe haben können. Wird also, wie beim gewöhnlichen Sehen die Regel ist, ein solches Doppelbild nicht in seine zwei Einzelbilder aufgelöst, so erhält es eine Sehrichtung, welche die Mitte hält zwischen den beiden Sehrichtungen seiner Einzelbilder, und einem mittlen Tiefenwerth, der stets eine gewisse positive oder negative Grösse haben muss; daher denn das Doppelbild jenseit oder diesseit der Kernfläche erscheinen und um so mehr von letzterer abstehen wird, je grösser sein mittler Tiefenwerth ist.

Ich setze voraus, die mittlen Querschnitte lägen in der Blickebene, und beginne mit den Punkten des Querhoropters, welche in dem, von beiden Gesichtslinien eingeschlossenen Theile der Blickebene liegen. Jeder solche Punkt giebt ein doppelseitiges, d. h. auf symmetrischen Hälften der Netzhäute gelegenes Doppelbild, welches z. B. ein gekreuztes, den äussern Netzhauthälften angehöriges ist, wenn der Objectpunkt näher liegt als der Schnittpunkt der Gesichtslinien. Da nun den äussern Netzhauthälften die negativen Tiefenwerthe oder Nahwerthe zukommen, so folgt, dass ein auf

§ 119.

Alle im Längshoropter gelegenen Punkte erscheinen urspr… Kernfläche des Sehraumes.

Jeder Punkt des Längshoropters giebt …
im Totalhoropter liegt, ein Doppelbild, v…
den Längsschnitten, aber auf disparater …
beiden Bildern kommen also verschie…
ben Längsebene des Sehraumes ge…
grosse aber entgegengesetzte Tie…
gewöhnlichen Sehen geschieht …
Einzelbilder, die ich Trug…
scheint es nur als ein Bil…
der Mitte liegt zwischen …
der, und einen mittle…
da gleichgrosse ab…
müssen. Hierbei …
ihrem vollen T… …ites ne-
Wettstreit de… … ihres Tiefenwerthes
…ll.

Demn… Längsho… …ebene, welche ausserhalb des von den Ge- werde… …schlossenen Theiles liegen, geben einseitige, d. näm… …respondirenden Netzhauthälften angehörige Doppelbilder. a… Die beiden Einzelbilder eines solchen Doppelbildes haben also entgegengesetzte Tiefenwerthe von ungleicher Grösse. Wird, wie gewöhnlich, das Doppelbild einfach gesehen, so erhält es einen mittlen Tiefenwerth, d. h. es erscheint an einem Orte, welcher die Mitte hält zwischen den beiden Orten, an welchen der Theorie nach die beiden Einzelbilder zu erscheinen hätten, wenn sie gesondert gesehen werden könnten. Da nun für ungekreuzte einseitige Doppelbilder stets der Fernwerth des einen Bildes den Nahwerth des andern an Grösse übertrifft, während das Verhältniss für gekreuzte einseitige Doppelbilder das umgekehrte ist, so folgt, dass erstere stets jenseit, letztere diesseit der Kernfläche erscheinen müssen, und dass die Grösse ihres Abstandes von der Kernfläche wächst mit der Grössenverschiedenheit der Tiefenwerthe der Einzelbilder, d. h. mit der

·er Disparation, ein Satz, der ebenfalls durch die stereosko-
·suche längst empirisch festgestellt ist.

·nder Versuch ist sehr geeignet, das bis hierher in die-
summarisch zu veranschaulichen und zu beweisen:
Kopf einer nahen feststehenden Nadel und lasse
·lkopf in gleicher Höhe mit dem ersten parallel
beider Augenmittelpunkte diesseit oder jenseit
vorbei bewegen. Beschreibt der Nadelkopf
· Bahn, welche nahe an dem fixirten Nadel-
·int er eine krumme, nach dem Gesichte
·eiben. Lässt man aber den Nadelkopf
velche für einen etwas ferneren oder
·r gewählte ist) Totalhoropter sein
·ne gerade, der Kernfläche parallele
behalten nämlich seine beiden
Bewegung dieselbe Grösse der
·iot das arithmetische Mittel ihrer
·ı dasselbe.

·ıe irgend einem andern geradlinigen Partialhoro-
·nören und nicht zugleich im Totalhoropter gelegen sind, ver-
nalten sich nun bald ähnlicher denen des Längshoropters, bald mehr wie die des Querhoropters, aber sie bilden sich nie auf identischen Längsschnitten oder Querschnitten ab. Für die primitive Tiefenwahrnehmung ist jedoch nur die Disparation der Längsschnitte wesentlich, auf welchen die beiden Bilder des Objectpunktes liegen; denn je nach der Grösse dieser Disparation werden die einfach erscheinenden Doppelbilder mehr oder minder diesseit oder jenseit der Kernfläche gesehen.

Alles Vorstehende handelt streng genommen nur von Punkten. Es sind nun noch die Linien in Betreff des Tiefsehens zu untersuchen.

Ich hatte gezeigt, dass alle in einem Partialhoropter gelegenen Geraden ohne sichtbares Ende sich identisch abbilden, dass somit ihre entgegengesetzten Tiefenwerthe sich zu Null ausgleichen und sie darum einfach in der Kernfläche des Sehraumes erscheinen. Anders schon verhalten sich solche in einem Partialhoropter gelegene Gerade, welche deutlich sichtbare Endpunkte haben. Sie können ausser-

halb der Kernfläche erscheinen, weil von ihren Endpunkten alles das gilt, was wir oben von den Punkten überhaupt gesagt haben. Eine, in einem Partialhoropter liegende Gerade mit sichtbaren markirten Endpunkten verhält sich demnach unter sonst günstigen Umständen nicht anders wie zwei Punkte, welche nicht durch eine Linie verbunden sind. Giebt z. B. ihr einer Endpunkt gekreuzte, der andere ungekreuzte Doppelbilder, so wird der erstere vor, der andere hinter der Kernfläche erscheinen und die ihrem grösseren Theile nach identisch abgebildete Linie wird die Kernfläche unter einem entsprechenden Winkel zu durchschneiden scheinen.

b. Bietet man z. B. unter dem Stereoskop dem rechten Auge zwei durch einen kurzen Horizontalstrich verbundene Punkte, dem linken zwei dergl. von etwas grösserer Distanz und fixirt die scheinbare Mitte des unter diesen Umständen einfach erscheinenden Striches, so sieht man das rechte Ende des letzteren näher, das linke ferner.

Nur die im Längshoropter gelegenen Geraden mit sichtbar markirten Endpunkten machen von der hier aufgestellten Regel selbstverständlich eine Ausnahme.

Es wären schliesslich noch die ausserhalb eines Partialhoropters gelegenen unbegrenzten Geraden zu betrachten. Sie erscheinen, da sie sich nie identisch abbilden können, stets ausserhalb der Kernfläche des Sehraumes, es sei denn, dass ihre beiden Bilder auf nah benachbarte Querschnitte der Netzhäute fallen. Letzterenfalls nehmlich werden sie, vorausgesetzt dass sie einfach erscheinen, in der Kernfläche selbst gesehen.

Ich gehe hier nicht aufs Einzelne ein; es wird Niemanden schwer fallen, nach Analogie der über die Doppelbilder der Punkte aufgestellten Regeln, sich die scheinbare Lage eines unbegrenzten Liniendoppelbildes selbst abzuleiten. Die bekannten stereoskopischen Versuche mit Linien werden ihm dann zeigen, dass der Versuch die Theorie durchgängig bestätigt.

§ 121.

Vom complementären Antheil der Netzhäute am Sehraum.

Bietet man dem einen Auge ein schwarzes Quadrat auf weissem Grunde, dem andern ein weisses Quadrat auf schwarzem Grunde,

und bringt die Quadrate durch Schielen oder unter dem Stereoskop zur Deckung, so zeigen sowohl die Quadrate als der Grund den Wettstreit der Netzhäute. Dies beweist, dass Schwarz eine Empfindung ist, die durchaus in Analogie gebracht werden muss mit den übrigen Farbenempfindungen, also auch mit Weiss. Denn hätten nicht beide Farben, Schwarz sowohl als Weiss, gleichen Anspruch auf Geltung im Sehraume und gleiche Kraft, sich geltend zu machen, so könnte nicht abwechselnd eines das andere besiegen. Brechen wir ein weisses Blatt Papier in der Mittellinie rechtwinklig um und halten es so gegen das Licht, dass nur die eine Hälfte volle Beleuchtung erhält, während die andere beschattet ist, bringen sodann durch Schielen beide Hälften zur scheinbaren Deckung, so tritt ein Wettstreit zwischen dem helleren und dem dunkleren Weiss ein. Machen wir nun allmählich den Knickungswinkel immer stumpfer, so wird die Energie des Wettstreites scheinbar immer geringer, je geringer die Helligkeitsdifferenz beider Papierhälften wird, und schliesslich hört der Wettstreit scheinbar auf. Aber es wäre ungerechtfertigt, anzunehmen, dass er wirklich aufhört.

Exacter wird der letztere Versuch, wenn man z. B. zwei weisse Quadrate unter dem Stereoskop verschmilzt und durch Regulirung der Beleuchtung eine nach und nach abnehmende Beschattung des einen Quadrates erzeugt.

Wir sehen also, dass der Wettstreit der Netzhäute auch bei nah verwandten Lichtqualitäten (oder benachbarten »Intensitätsgraden«) bestehen bleibt, wenngleich er selbstverständlich nicht so sehr in die Augen springt: warum soll er plötzlich aufhören, wenn die beiden Farben gleich werden? Alles weist vielmehr darauf hin, dass auch gleiche Farben dem Wettstreite unterliegen. Bieten wir beiden Augen Weiss, so siegt vielleicht bald das Weiss der einen, bald das der andern Netzhaut; im Uebergange zwischen diesen beiden Hauptphasen des Wettstreites mischt sich ein Theil des Weiss der einen Netzhaut mit einem Theile des Weiss der andern, und zwar ist das Verhältniss des beiderseitigen Antheiles derart, dass, wie die Erfahrung beweist, das im Sehraume erscheinende Weiss immer so ziemlich dasselbe bleibt. Wir würden auf diese Weise sozusagen ein gemischtes Weiss sehen, das sich natürlich in Nichts von dem einfachen Weiss unter-

scheiden könnte, welches wir sehen, wenn eben das Weiss der einen Netzhaut im Sehraume zur ausschliesslichen Geltung kommt.

Die beiden Erregungen eines Deckstellenpaares summiren sich also nicht, sondern kämpfen miteinander im gemeinsamen Sehraume, und die Folge ist derart, dass, wenn wir die resultirende Empfindung gleich 1 setzen, beide Netzhäute stets ungefähr complementären Antheil an der Erzeugung dieser Empfindung haben, d. h. giebt die eine $^3/_4$ dazu, so giebt die andere $^1/_4$, giebt die eine $^1/_2$, so giebt die andere auch $^1/_2$, giebt die eine 1, so giebt die andere 0. Vielleicht dürfen wir annehmen, dass, wenn beide Netzhäute in absolut gleicher Weise gereizt werden könnten, dann auch beide gleichen Antheil (d. h. je $^1/_2$) am gemeinsamen Sehraume haben würden.

Unter das Gesetz des complementären Antheils der Netzhäute am Sehraume fallen mancherlei interessante Erscheinungen, die paradox erscheinen, so lange man das gemeinsame Sehfeld irriger Weise als eine rein physikalische Resultante der beiderseitigen Netzhautreizung auffasst.

a. Eine weisse Fläche erscheint nicht heller, wenn man sie mit beiden Augen, als wenn man sie mit nur einem Auge betrachtet. Wird nehmlich das eine Auge geschlossen, so tritt es sozusagen ganz vom Kampfplatze ab, und überlässt dem andern Auge allein das Terrain. Daher verhält sich in diesem Falle der Antheil des offenen Auges an der Empfindung zu dem des geschlossenen wie 1 zu 0. Oeffnet man auch das andere Auge, so tritt es wieder in sein Recht; aber da die Antheile complementäre sind, so kann die Empfindung nach wie vor nur gleich 1 sein.

Ganz richtig ist übrigens diese Angabe insofern nicht, als unter günstigen Umständen auch das Eigenschwarz des geschlossenen Auges mit in den Wettstreit eingeht. Freilich kann es solange nicht zur Geltung kommen, als die Netzhaut des offenen Auges durch Contouren, überhaupt durch Unterscheidbares gereizt wird, während die Erregung im geschlossenen Auge unterschiedslos über die ganze Netzhaut vertheilt ist; denn die Contouren verhelfen stets der umliegenden Farbe zum Siege im gemeinsamen Sehraume. Hält man aber z. B. einen grossen glatten Bogen weissen Papiers so nahe vor ein Auge, dass man weder seine Umrisse sehen, noch das Korn des Papieres unterscheiden kann, sondern lediglich die Empfindung des Weiss bekommt, und schliesst das andere Auge; so überzieht sich von Zeit zu Zeit das Weiss

mit einem dunklen Nebel, weil periodisch das Eigenschwarz des geschlossenen Auges siegreich wird.*)

Eine analoge Beobachtung ist diese: Wenn man die geschlossenen Augen gegen das Licht kehrt, und sodann das eine Auge noch mit der Hand verdeckt, so tritt bekanntlich zunächst eine Verdunklung des Sehfeldes ein. Setzt man aber die Beobachtung fort, so sieht man, dass auch hier der Wettstreit der Netzhäute besteht; denn in langsamer Abwechslung erscheint bald das Sehfeld heller und roth, bald dunkler und fast schwarz.

b. Bringt man complementäre Farben binocular zur Deckung, so erhält man bekanntlich periodisch ein schwaches Weiss oder vielmehr Grau, welches jedoch viel lichtschwächer ist, als das Weiss oder Grau, welches man erhält, wenn man genau dieselben Farben auf einer Netzhaut mischt, während die andere ganz verfinstert ist. Es kann nehmlich ersteren Falls nicht gleichzeitig von jeder Netzhaut sozusagen die ganze Empfindung ins Sehfeld treten, sondern günstigsten Falls von jeder Seite nur die Hälfte, daher nicht ein gleich helles Weiss gesehen werden kann, wie dasjenige, welches durch Mischung der Farben auf nur einer Netzhaut entsteht.

c. Der Erfolg des FECHNER'schen »paradoxen Versuchs«**) ist aus obigem Gesetze a priori abzuleiten. »Vollständige Verdunklung eines bis zu gewisser Grenze verdunkelten Auges bei unverdunkeltem andern Auge bewirkt eine Erhellung des gemeinsamen Gesichtsfeldes.« FECHNER blickte bei dem Versuche gegen den Himmel oder auf eine weisse Thüre oder Wand und hielt vor das Auge ein dunkles Glas. Während nun hierbei das dunkle Bild des nicht vollständig verdunkelten Auges mit in den Wettstreit einging und also das Sehfeld mehr oder minder verdunkeln musste, wurde jenes Auge, sobald man es vollständig verdunkelte, ganz vom Kampfplatze verdrängt und das helle Weiss des geöffneten Auges erlitt nun keine Abschwächung mehr.

Hätte FECHNER alle Contouren, überhaupt alles Unterscheidbare ausgeschlossen und eine ganz homogene Fläche benützt, hätte er ferner die Beobachtung länger fortgesetzt, so würde er auch das zuerst heller gewordene Sehfeld wieder periodisch verdunkelt gesehen haben. Eine seiner Versuchspersonen sah wirklich den Wettstreit trotz der Ungunst

*) Diese Beobachtung ist schon von PURKINJE gemacht und von VOLKMANN bestätigt worden.

**) Ueber einige Verhältnisse des binocularen Sehens. Abhandl. der k. sächs. Gesellsch. d. Wissensch. VII. 416.

der Versuchsverhältnisse. Aber FECHNFR will dies aus willkührlicher Intention erklären. Die Erscheinung tritt jedoch ohne und selbst gegen unsern Willen ein.

d. »Zulassung des Lichtes bis zu gewissen Grenzen in einem anfangs ganz verdunkelten Auge bei unverdunkeltem andern Auge bewirkt eine Verdunklung des gemeinsamen Gesichtsfeldes« (FECHNER); d. h. also, wenn das eine Auge ein helles Weiss sieht und man lässt sodann in das anfangs ganz verdunkelte andere Auge etwas Licht fallen, so geht diese Empfindung des relativ Dunkleren mit in den Wettstreit ein, während anfangs die ganz verdunkelte Netzhaut sich gar nicht am Wettstreite betheiligte. Die Zulassung des Lichtes geschah durch Oeffnen des mit einem grauen Glase bewaffneten Auges. Es fielen also auch hier Contouren auf die Netzhaut. Am reinsten ist der Versuch, wenn man ein Auge schliesst, das Gesicht gegen das Licht wendet, und abwechselnd das geschlossene Auge noch mit der Hand verdeckt.

Eine genauere Darlegung der Gesetze des Wettstreites denke ich anderswo zu geben. Hier war nur nöthig, Einiges hervorzuheben, was für das Verständniss des Folgenden von Wichtigkeit ist, Die Wettstreitsphänomene sind, wie das Folgende lehren wird, von der höchsten Wichtigkeit für das Verständniss des binocularen Raumsehens.

§ 122.

Von der Bedeutung des Wettstreites der Netzhäute und des Dominirens der Contouren.

Wie aus allem früher Gesagten hervorgeht, ist der Sehraum ein einfacher, und die in denselben eingetragenen Farben sind in jedem Einzelpunkte das einfache Ergebniss aus der doppelten Erregung eines Deckstellenpaares. Demnach könnte man erwarten, dass zwei Gesammtnetzhautbilder, sobald sie nicht vollkommen congruent, sondern verschieden geformt und gefärbt sind, in ein gemeinsames Chaos zusammenfliessen müssten. Es würde z. B. das Weiss im einen Auge sich mit dem Schwarz des andern zu Grau mischen, alle Farbenunterschiede würden abgeschwächt oder aufgehoben werden, ein Theil der Contouren würde zu Grunde gehen u. w. dergl. m. ist. Wir würden mit einem Worte nur ein Netzhautbild, nicht zwei sehen.

Nun würde zwar die Erfahrung diesen Uebelstand z. Th. beseitigen können, insofern wir ja auch, wie ich in § 63 erörtert habe, einer Netzhaut zwei ganz verschiedene Bilder bieten können, d. h. ein direct gesehenes und ein gespiegeltes, ohne dass beide in eines unterschiedslos zusammenfliessen. Wir trennen dann durch unser Urtheil das Spiegelbild von dem direct gesehenen, was besonders leicht wird, wenn das eine ferner erscheint, als das andere; wir sondern die Contouren und füllen mit der allerdings auf jeder Netzhautstelle einfachen Farbenresultante beide Netzhautbilder abwechselnd aus, ergänzen in Gedanken die Theile des hinteren Bildes, welche von dem vorderen verdeckt werden etc. Aber die Farben bleichen doch sehr oder werden verändert, je nachdem mehr oder minder Complementäres aufeinander trifft. Auch kommen mannichfache Täuschungen dabei vor, d. h. Theile des vorderen Bildes werden in das hintere verlegt und was dergl. mehr ist. Ueberhaupt ist die Sonderung zweier solcher Bilder nur auf Grund langer Erfahrung möglich; dem noch ganz Unerfahrenen müssten nothwendig beide Bilder in eines zusammenfliessen.

Hätten nun beide Netzhäute stets gleichen Antheil an der Erzeugung der Empfindung, d. h. gäbe die Reizung eines Deckstellenpaares eine stetige Resultante der beiderseitigen Erregung, so wäre das Verhältniss ganz dasselbe, als wenn die beiden Bilder, statt auf den zwei Netzhäuten, auf einer und derselben Netzhaut lägen. Hieraus nun leuchtet die hohe Wichtigkeit des Wettstreites der Netzhäute hervor.

Durch den Wettstreit der Netzhäute wird die Fusion beider Netzhautbilder verhindert und jedes derselben bewahrt eine gewisse Selbstständigkeit. Da beide Bilder in dem gemeinsamen Raume, der ihnen angewiesen ist, nicht gleichzeitig auftreten können, so kämpfen sie miteinander um denselben, und abwechselnd tritt bald mehr das eine, bald mehr das andere in den Sehraum ein. Bringen wir z. B. Blau und Gelb auf Deckstellen, so würde uns, wenn beide Netzhäute eine constante Resultante (im gewohnten Sinne) gäben, ein lichtschwaches Weiss oder Grau zur Empfindung kommen. Durch den Wettstreit der Netzhäute aber wird die gesonderte Empfindung des Gelb und Blau möglich, nicht gleichzeitig, aber abwechselnd. Im ersten Augenblicke

tritt z. B. an einer Stelle das Gelb in vollster Reinheit auf, im nächsten Augenblicke leidet es schon unter der Beimischung des Blau, wird daher grauer und grauer und geht endlich im reinen Grau unter. Aus diesem neutralen Gemisch, an welchem beide Netzhäute gleichen Antheil hatten, drängt sich jedoch bald das Blau deutlicher hervor, besiegt endlich das Gelb vollständig und füllt nun allein die Stelle im Sehfelde. Hierbei ist noch von Wichtigkeit, dass der Sieg z. B. des Blauen nicht auf dem ganzen Kampfplatze gleichzeitig erfolgt, sondern dass die Phasen des Kampfes an verschiedenen Stellen verschiedene sind, sodass fast immer ein Blaues und ein Gelbes gleichzeitig hier und dort siegreich wird, während die zwischenliegenden Stellen des Sehfeldes von den verschiedenen Mischphasen erfüllt sind. Selten geht die eine Farbe ganz unter.

Am wesentlichsten aber ist bei diesem Wettstreite das (von PANUM sogenannte) Dominiren der Contouren. Wo nehmlich auf einer Netzhaut zwei verschiedene Farben*) mit einer scharfen Grenze zusammenstossen, gewinnen die Farben ein Uebergewicht über die identisch gelegenen Farben der andern Netzhaut, d. h. die Contouren nehmen stets ein Stück des Grundes, auf dem sie liegen, mit ins gemeinsame Sehfeld hinein, wodurch sie erst sichtbar werden. Daher erscheinen die Contouren im gemeinsamen Sehfelde stets wie von einer Glorie umstrahlt; daher auch wird es nicht leicht möglich, dass die Contouren im Wettstreite der Netzhäute untergehen, wenigstens nicht bei bewegtem Auge. Denn bei absolut ruhig gehaltenem Auge werden auch Contouren des einen Bildes leicht im Wettstreite von einer gleichmässigen Farbenstrecke des andern Bildes übertönt. Beim gewöhnlichen Sehen aber sind die Contouren stets im Vortheil; sie sind gleichsam von einer siegreichen Farbencohorte umgeben, welche ihnen den Platz im gemeinsamen Sehfelde erzwingt. Nur wenn ein Contour der einen Netzhaut einen Contour der andern kreuzt, tritt an der Kreuzungsstelle auch zwischen den Contouren ein Wettstreit ein: es fällt bald ein Stück des einen Contour aus, um den anderen durchzulassen, bald umgekehrt Auch dies ist ein sehr wichtiger Umstand. Denn dadurch wird es unmöglich, dass jemals zwei sich kreuzende

*) Ich nenne hier Farbe alle verschiedenen Abstufungen der Lichtempfindung nach »Qualität« sowohl als »Intensität«; Grau ist also eine andere Farbe als Weiss, Hellgelb eine andere als Dunkelgelb u. s. w.

Contouren, die nicht derselben Netzhaut angehören, sich zu einem zusammenhängenden Gebilde aufbauen können. Entweder dominirt der eine Contour und dann ist der andere zerrissen, oder letzterer ergänzt sich wieder, und dann ist der erstere zerrissen; nie aber können beide ein zusammenhängendes Kreuz bilden, wie wenn sie sich nur auf einer Netzhaut durchschnitten hätten.

Nicht genug kann ich die Wichtigkeit dieser hier nur kurz skizzirten Thatsachen betonen. Ohne genaue Kenntniss derselben ist eine vollständige Einsicht in das Binocularsehen unmöglich. Ich empfehle die treffliche Schrift von Panum, welcher die, im Wesentlichen schon von Joh. Müller geschilderten Thatsachen näher untersucht und durch zahlreiche interessante Beispiele erläutert hat. Die hohe Bedeutung des Wettstreites und der Herrschaft der Farbengrenzen ist aber zeither noch gar nicht gehörig gewürdigt worden.

Wir sahen also, dass beiden Netzhautbildern mittels des Wettstreites die Möglichkeit gegeben ist, sich von einander innerhalb gewisser Grenzen unabhängig zu machen und sich abwechselnd die Aufmerksamkeit des Sehenden zu erwerben. Nicht nur kann jedes von beiden zeigen, wie es gefärbt ist, sondern auch welche eigenthümlichen Umrisse seine Farben haben, kurzum es kann sich nach Farbe und Gestalt, wenngleich unter fortwährendem Kampfe, dem Bewusstsein präsentiren.

Das doppeläugige Tiefsehen nun, d. h. das sogenannte stereoskopische Sehen ist nur möglich durch den Wettstreit der Netzhäute und den Sieg der Contouren.

Wie aus § 117 hervorgeht, haben zwei auf Deckstellen liegende Bildpunkte denselben Höhen- und Breitenwerth (Richtungswerth), aber entgegengesetzte Tiefenwerthe. Drängen nun je zwei auf Deckstellen liegende Bilder stets mit gleicher Macht in das gemeinsame Sehfeld ein, so würden ihre beiden Farben die bezügliche Mischfarbe geben, deren scheinbarer Ort nach Höhe und Breite bestimmt wäre durch ihren gemeinsamen Richtungswerth, und deren Tiefenwerth stets gleich 0 wäre, wenn wir die Tiefe des Kernpunktes gleich 0 setzen; denn da der Nahwerth des einen Bildes gleichgross wäre wie der Fernwerth des andern, so würden beide Werthe, als + und —, sich vollständig heben. Siegen aber, wie dies für gewöhnlich stets der

Fall ist, die Contouren der einen Netzhaut über die identisch liegende gleichmässige Färbung der andern, so behält jeder in den gemeinsamen Sehraum eintretende Contour seinen Nah- oder Fernwerth bei und wird demnach ausserhalb der Kernfläche des Sehraumes gesehen. Alle Localisation der Bilder aber knüpft sich an die Contouren. Ihr Sieg im Sehraume ist zugleich ein Sieg ihrer Tiefenwerthe, und daher wird erst durch diesen die Localisation der einzelnen Bilder in verschiedener Tiefe möglich, während die Tiefenwerthe identischer Stellen sich stets zu 0 ausgleichen müssten, Alles nivellirt und in der Kernfläche gesehen werden würde, wenn nicht der Sieg der Contouren dies verhinderte.

§ 123.

Bedeutung der Augenbewegungen für die Tiefenwahrnehmung.

So irrig es meiner Ansicht nach ist die Tiefenwahrnehmung aus den Bewegungen des Auges erklären zu wollen, so nachdrücklich muss doch darauf hingewiesen werden, dass durch die Augenbewegungen das Tiefsehen Gelegenheit bekommt, sich viel umfänglicher zu entfalten, als dies bei ruhenden Augen möglich wäre. Demnach bleibt der Brücke'schen Theorie immer das Verdienst, ein wichtiges Hülfsmittel beim Tiefsehen nachdrücklich hervorgehoben zu haben. Was aber das Wesen dieser Theorie betrifft, so wird durch dieselbe meiner Meinung nach das ganze Verhältniss auf den Kopf gestellt: denn nicht durch die Bewegungen der Augen wird die Tiefenwahrnehmung erzeugt, sondern die von der Netzhaut her erweckten Tiefengefühle regen erst die Bewegung des Blickes nach der Tiefe an.

Ich habe mich schon in den ersten §§ dieser Beiträge auf die Seite der Wenigen gestellt, welche die Existenz eines auf Muskelgefühlen basirenden sogenannten Muskelsinnes läugnen. Die experimentellen Beweise für die Richtigkeit meiner Ansicht werde ich später geben. Es entstehen in den Muskeln keinerlei Gefühle, welche uns über irgendwelche räumliche Verhältnisse Aufschluss geben könnten. Daher giebt es auch keine sogenannten Bewegungsgefühle. Jeder vom Sensorium aus angeregten Bewegung geht natürlich und

nothwendig ein Zustand des Sensoriums voran, welcher sich zur Innervation der motorischen Nerven wie Ursache zur Wirkung verhält; diese Ursache ist ein Eigenthum des Sensoriums, aber von der Wirkung weiss letzteres nichts ausser dem, was es auf indirectem Wege von den bekannten fünf Sinnen darüber erfährt.

Die Bewegungen des Doppelauges stehen unter der fortwährenden Herrschaft und Leitung des Doppelnetzhautbildes, d. h. der Raumgefühle, welche vom Netzhautbilde her im Sensorium ausgelöst werden. Selbstverständlich giebt es noch anderweite Motive zur Bewegung, welche nicht direct von der Netzhaut kommen, sondern ein mehr oder weniger vom Netzhautbilde unabhängiges Erzeugniss unseres Sensoriums sind. Dahin gehören die von der Haut und vom Ohre ausgelösten Raumgefühle; ferner die aus der Reflexion entspringenden Willensimpulse, durch welche z. B. der Physiolog den Augen mancherlei Bewegungen sozusagen gegen ihren Willen abzwingt; die Affecte, welche die mimischen Augenbewegungen hervorrufen etc. Hier spreche ich nur von denjenigen Bewegungen, welche das, lediglich seiner Bestimmung als Sehorgan hingegebene Auge gleichsam instinctiv zum Zwecke der sinnlichen Erkenntniss der Aussenwelt ausführt.

Sofern in einem sonst leeren Raume oder auf einer gleichfarbigen Fläche plötzlich ein Unterscheidbares seitlich auftaucht und in einem oder beiden Augen z. B. einen Punkt der rechten Netzhauthälften erregt, sobald wird auch das bestimmte, diesem Netzhautpunktpaare zukommende Richtungsgefühl ausgelöst, welches einer Richtung nach links entspricht. Dieses im Sensorium ausgelöste Richtungsgefühl veranlasst unmittelbar, d. h. ohne dass hierzu irgendwelche Reflexion nöthig ist, eine nach links gerichtete Bewegung des Doppelauges. Ganz entsprechend verhält es sich, wenn ein Punkt der linken, untern oder obern Netzhauthälften getroffen wird. Es ist hierbei gleichgültig, ob von zwei Deckpunkten nur der eine oder beide getroffen werden; in beiden Fällen wird ein und dasselbe Richtungsgefühl ausgelöst, und in beiden Fällen wird dies Raumgefühl Anlass zu einer und derselben gleichzeitigen Bewegung beider Augen, welche sich hier durchaus so verhalten, wie ein einfaches, nur in zwei Zweige auslaufendes Organ sich verhalten würde. Die gleichsinnigen Bewegungen der Augen also, bei denen sie, immer unter

sich parallel, nach rechts, links, oben oder unten, beziehendlich schräg hinauf oder hinab geführt werden, stehen unter der Herrschaft der von der Doppelnetzhaut her im Sensorium ausgelösten Richtungsgefühle, d. h. *die Doppelnetzhaut selbst leitet mittels der Richtungsgefühle und auf dem Umwege durch's Sensorium die gleichsinnigen Bewegungen des Doppelauges.*

a. Folgender Versuch ist zur Erkenntniss dieses Verhältnisses sehr instructiv: Man erzeugt sich ein excentrisch liegendes Nachbild entweder nur in einem Auge oder auf Deckstellen beider Augen, und richtet sodann die Augen auf eine homogene Fläche. Das z. B. auf der linken Netzhauthälfte liegende Nachbild erregt fortwährend ein Richtungsgefühl, welches die Augen unwillkührlich nach rechts treibt, und wenn man nicht gewaltsam diesem Impulse entgegenwirkt, gleiten die Augen, von der Macht des Richtungsgefühles getrieben, weiter und weiter nach rechts.

Eine ganz ähnliche Wirkung üben bekanntlich die excentrisch erscheinenden mouches volantes aus, sobald sie die Aufmerksamkeit in Anspruch nehmen.

Wie die gleichsinnigen Bewegungen der Augen unter der Herrschaft der Richtungsgefühle, so stehen die gegensinnigen Bewegungen der Augen unter der Herrschaft der Tiefengefühle.

Gegensinnige Bewegungen sind solche, bei denen das eine Auge nach rechts, das andere nach links geht, wobei also die Convergenz erhöht oder vermindert wird, beziehendlich sogar eine Divergenz eintritt. Sobald in einem sonst leeren Raume ein Punkt erscheint, der sich nicht identisch abbildet, sondern z. B. symmetrisch auf den innern Netzhauthälften liegende Bilder giebt, sobald wird auch durch diese beiden Bilder ein positives Tiefengefühl, d. i. also ein Ferngefühl ausgelöst, welches nun seinerseits die zur Minderung des Convergenzgrades eingerichtete Musculatur unwillkührlich innervirt. Beide Augen bewegen sich also nach aussen und selbstverständlich wirkt ein von den beiden symmetrischen Bildstellen ausgehendes Ferngefühl fort, bis schliesslich beide Bilder auf die Netzhautmitte fallen und damit plötzlich die Bewegung sistirt wird, weil das Ferngefühl auf Null herabgesunken ist. Demnach können identisch liegende Netzhautbilder, auch wenn sie noch so eindringlich sind und sich mit Ge-

ı Sensorium aufdrängen, im Allgemeinen nicht zu gegensin-
ʼdern nur zu gleichsinnigen Bewegungen Anlass geben.
ʼdentischen Punkten kommen gleichgrosse entgegen-
ᶠenwerthe zu, sodass das eine Bild sozusagen ebenso-
ʳenz zwingt, als das andere zur Divergenz anregt,
ır gegensinnigen Bewegung also gleich 0 sein
ken andererseits symmetrisch gelegene Doppel-
keine gleichsinnige Bewegung der Augen;
ʼn Richtungsgefühl aus, welches die Augen
ls das von dem andern Bilde erweckte
ı rechts treibt, sodass beide Impulse sich auf-
ıgegen wird aus dem identischen Tiefenwerthe
. Bilder eine gegensinnige Augenbewegung resultiren.
ɔt ein Aussenpunkt disparate Bilder, welche z. B. beide auf
. linken Netzhauthälften liegen, sodass sie ein einseitiges Doppelbild darstellen, und liegt dabei das Bild der rechten Netzhaut weiter von der Netzhautmitte, als das der linken Netzhaut, so erweckt, wie oben gezeigt wurde, das Bild im linken Auge, weil es auf der äussern Netzhauthälfte liegt, ein Nahgefühl, welches an sich zu einer Convergenzbewegung anregen müsste; zugleich aber wird von dem Bilde der rechten Netzhaut, welches nach innen von der Netzhautmitte und zwar weiter von letzterer abliegt, ein grösseres Ferngefühl ausgelöst. Beide Bilder präsentiren sich nun, wie oben gezeigt wurde, dem Sensorium als eines, und es resultirt somit aus der Wahrnehmung dieses Doppelbildes schliesslich wegen des grösseren Fernwerthes des einen Bildes eine Divergenzbewegung der Augen oder vielmehr eine Minderung ihrer Convergenz. Durch dieselbe werden die anfangs disparat gelegenen Bilder des Aussenpunktes bald auf Deckstellen gebracht, und hiermit endet der Impuls zur Divergenz. Zu gleicher Zeit haben aber auch beide Bilder, weil sie excentrisch nach links auf den Netzhäuten lagen, ein Richtungsgefühl erweckt, welches die Augen gleichsinnig nach rechts getrieben hat, sodass aus dem doppelten Bewegungsimpulse (zur Minderung der Convergenz und zur gleichsinnigen Bewegung nach rechts) eine Stellung der Augen resultirt, bei welcher die ursprünglich disparat und excentrisch gelegenen Bilder beide auf die Netzhautmitten fallen. In dieser Stellung finden nun die Augen Ruhe, da den Netzhautmitten der Null-

punkt für die verschiedenen von der Netzhaut ausgehenden Bewegungsimpulse entspricht. Sobald jedoch abermals excentrische Bilder sich dem Sensorium besonders bemerklich machen, sobald kommen auch die ihnen zugehörigen Richtungs- und Tiefengefühle zur Wirkung, und die Augen gehen unter ihrer Leitung in die Stellung, bei welcher schliesslich allemal das, was die Aufmerksamkeit erweckte, auf die Netzhautmitten zu liegen kommt, d. h. zum Fixationspunkte gemacht wird.

Wir haben also ein zweifaches System von Bewegungen des Doppelauges zu unterscheiden, denen wohl auch besondere motorische Centra entsprechen (vergl. § 124). Die Bewegungen des Auges sind, obwohl sie unwillkührlich erfolgen, doch keine eigentlichen Reflexbewegungen. Ein Netzhautbild wirkt motorisch nur insofern, als es eben die Aufmerksamkeit fesselt; von der Stellung also, die es im Bewusstsein einnimmt, hängt es ab, inwieweit seine Raumwerthe zu motorischen Impulsen werden. Daher dürfen die instinktiven Augenbewegungen nicht ohne Weiteres mit den Reflexbewegungen (im engeren Wortsinne) zusammengestellt werden. Es ist im höchsten Grade wahrscheinlich, dass die Harmonie und Zweckmässigkeit der Augenbewegungen nichts Erworbenes ist, vielmehr bin ich, im Gegensatz zu Helmholtz der Ansicht, dass der Bewegungsmodus des Doppelauges in seinen wesentlichen Zügen durch angeborene Einrichtungen vorgezeichnet ist.

Nach dieser kurzen Skizze meiner Ansichten über das Verhältniss zwischen Tiefenwahrnehmung und Augenbewegung wird man erkennen, dass ich der Brücke'schen Theorie des Tiefsehens ein *ὕστερον πρότερον* vorwerfen muss. Brücke vertauscht die Wirkung mit der Ursache. Erst sieht man das Doppelbild eines nicht im Längshoropter gelegenen Punktes diesseit oder jenseit derKernfläche, und erst in Folge dieser Tiefenwahrnehmung treten diejenigen Bewegungen der Augen ein, durch welche die Bilder des bezüglichen Aussenpunktes auf identische Stellen geleitet werden. Die Tiefenwahrnehmung erzeugt die Tiefenbewegung des Doppelauges, nicht umgekehrt.

Gleichwohl stimme ich, wie gesagt, Brücke darin bei, dass der Tiefenbewegung der Augen eine hohe Bedeutung für die Tiefenwahrnehmung zukommt. Erstens nehmlich werden durch dieselbe die

Doppelbilder eines Aussenpunktes in eine charakteristische Bewegung gegeneinander versetzt, sie nähern oder entfernen sich untereinander in bestimmter Weise. Zweitens geht ein bewegtes Doppelbild nicht wie ein ruhendes im Wettstreit der Netzhäute unter; und endlich drängen sich überhaupt alle excentrischen Bilder, wenn sie sich bewegen, viel lebhafter ins Bewusstsein als die ruhenden, eine Thatsache, die jedem in der Sache Bewanderten bekannt sein wird

b. Bieten wir unter dem Stereoskop den Augen erstens zwei Linien, welche sich je eine auf einer vertikalen Trennungslinie abbilden, fixiren diese einfach gesehene Doppellinie und bewegen dann zwei excentrisch, z. B. nach rechts gelegene Parallelen, deren eine dem linken, die andere dem rechten Auge sichtbar ist, in der Ebene des Papieres so gegeneinander, dass sich die beiden Bilder untereinander nähern oder entfernen, so sieht man bekanntlich in zwingender Weise eine Bewegung einer einfach gesehenen Linie nach der Tiefe, d. h. die Linie geht scheinbar hinter oder vor das Papier, je nachdem die beiden Bilder ungekreuzte oder gekreuzte sind. Dass dies keine Folge einer entsprechenden Aenderung des Convergenzgrades der Gesichtslinien ist, geht schlagend daraus hervor, dass man denselben Versuch gleichzeitig doppelt ausführen kann. Man erzeugt sich zu diesem Zwecke nach rechts hin zwei sich einander nähernde, nach links hin zwei sich von einander entfernende Linienbilder, wobei man denn gleichzeitig die eine Linie hinter, die andere vor das Papier treten sieht. Selbstverständlich aber kann man nicht zu gleicher Zeit convergiren und divergiren. Noch einfacher ist der Versuch, wenn man jedem Auge eine in der Mitte markirte Vertikallinie bietet, die Mitte der scheinbar einfachen Linie fixirt und dann beide Linien um ihre Mitte ein wenig in der Papierebene und zwar in entgegengesetztem Sinne dreht: dann scheint die Linie sich in der Medianebene zu drehen, und während die obere Hälfte sich scheinbar nähert, entfernt sich scheinbar die untere. Auch hier haben wir zu gleicher Zeit zwei entgegengesetzte Tiefenwahrnehmungen, welche sich in keiner Weise aus einer Veränderung der Augenbewegung erklären lassen und die BRÜCKE'sche Theorie ebenso zwingend widerlegen als der DOVE'sche Versuch.

Was bei diesen Versuchen durch die Bewegung der Objecte erzielt wird, das erzeugen beim gewöhnlichen Sehen die Augenbewe-

gungen; die Verschiebung der Netzhautbilder ist hier wie dort dieselbe, die scheinbare Tiefenbewegung der Doppelbilder eigentlich ebenfalls. Aber diese Bewegung wird bei den vom Sensorium selbst angeregten Tiefenbewegungen nicht auf die Objecte bezogen, sondern aufs Subject, daher denn die Objecte zu ruhen scheinen und nur die Tiefenwahrnehmung als solche übrig bleibt. Hierbei ist die Tiefenwahrnehmung entschieden eindringlicher als bei ruhenden Bildern; denn die Doppelbilder, indem sie auf immer neue Netzhautstellen rücken, frischen sich gleichsam immer wieder auf, sowohl in Betreff ihrer Farbe, als ihrer Tiefenwerthe, und sie behalten nicht Zeit genug, um sich von den Deckstellen der andern Netzhaut übertönen zu lassen, wie dies bei ruhenden Bildern geschieht.

Ferner geben also die Augenbewegungen die Möglichkeit, das anfangs doppelt und indirect Abgebildete, zu einem einfach Empfundenen und direct Gesehenen zu erheben. Sieht man gleich beim gewöhnlichen Sehen auch die Doppelbilder einfach, so ist doch dieses Einfachsehen nicht so deutlich als das Einfachsehen mit Deckstellen, geschweige denn mit den Netzhautmitten. Indem nun jedes Doppelbild, sobald es einmal in das Bewusstsein getreten ist, sofort auch durch die ihm beigegebenen Richtungs- und Tiefengefühle diejenige Bewegung einleitet, durch welche es auf die Netzhautmitten übergeführt wird, bleibt dem Sehenden gewissermassen gar keine Zeit, sich nachhaltig mit einem Doppelbilde, als solchem, zu beschäftigen, wie dies der Physiolog vermag; sondern ehe noch die wachgewordene Aufmerksamkeit Zeit gehabt hat, das Doppelbild in seine einzelnen Bestandtheile zu zerlegen, ist bereits die Empfindung factisch einfach geworden. Daher kommt es besonders, dass der gewöhnliche Mensch meist gar nichts von Doppelbildern weiss. Alle Unterscheidung zweier nahverwandter sinnlicher Eindrücke erfordert Zeit und Uebung: der Neugeborne wird zwei einander sehr nahe liegende Parallellinien kaum als doppelt unterscheiden, sondern noch für eine nehmen, wenngleich beide auf derselben Netzhaut abgebildet sind, aber die Uebung wird mit der Zeit sein Unterscheidungsvermögen verfeinern. Das Unterscheidungsvermögen aber für binoculare Doppelbilder, als zweier der Sonderung fähiger Licht- und Raumempfindungen wird sich bei ihm nicht entwickeln können, weil ihm die unwillkührlichen, im Uebrigen sehr zweckmässigen Bewegungen seiner

Augen diese Uebung im indirecten Sehen vereiteln, indem durch diese Bewegungen das Doppelte stets einfach wird, sobald er Anstalt macht, es näher zu untersuchen.

§ 124.

Grundzüge der allgemeinen Theorie des Raumsehens.

Der Sehraum, d. i. der Inbegriff der gesammten Anschauungen, die wir in einem beliebigen Augenblicke haben, ist das Erzeugniss unseres Sensoriums entstanden durch das Zusammenwirken zweier Factoren, erstens der Licht- und Raumempfindungen, welche durch das Doppelnetzhautbild direct und auf Grund eines angeborenen Mechanismus ausgelöst werden, und zweitens der jedesmaligen Beschaffenheit des Sensoriums, welche bedingt ist durch die zahllosen Erfahrungen, Urtheile und Schlüsse, durch welche das Sensorium im Laufe des Lebens sozusagen umgebildet wird.

Wir haben es hier zunächst nur mit dem ersten Factor zu thun und setzen ein primitives, absolut unerfahrenes und sozusagen weder urtheils- noch schlussfähiges Sensorium voraus.

Ein solches rein sinnliches Sensorium hat Bewusstsein, aber kein Selbstbewusstsein; es empfindet aus Anlass eines beliebigen Netzhautbildes Raum und Licht, aber es stellt sich selbst noch nicht dem Empfundenen als ein Ich gegenüber; die Bilder, die es von Theilen seines eignen Körpers empfängt, sind ihm zunächst noch gleichwerthig mit den Bildern anderer Dinge, es empfindet einen Raum und unterscheidet in diesem Raume einzelne verschieden gefärbte Gestaltungen und unter diesen auch z. B. Hände und Füsse, aber es hat zunächst noch keinen Anlass, die letzteren als zum engern Ich gehörig, den übrigen Gestalten entgegenzusetzen; es reflectirt nicht, sondern empfindet nur und geht in jedem Augenblicke in seinen Empfindungen auf.

Ein solches Sensorium sieht nicht die Dinge in der oder jener Richtung; denn die Richtung setzt die Beziehung auf einen Ausgangspunkt aller Richtungen, d. h. ein Ich als Centrum aller räumlichen Relationen voraus. Daher kann hierbei von Sehrichtungen noch nicht gesprochen werden. Wohl aber kann von den räumlichen Relationen die Rede sein, welche die empfundenen

Gestalten unter sich im Sehraume haben, und von der gesetzmässigen Abhängigkeit in welcher diese Relationen stehen zu den Verhältnissen der Einzeltheile des Netzhautbildes unter sich. Von directen räumlichen Beziehungen aber zwischen den Netzhautbildern und den entsprechenden Anschauungsbildern, Beziehungen wie sie die Projections- und Richtungslinientheorie statuirt, kann nicht die Rede sein. Die Beziehung zwischen beiden ist vielmehr nur functionell.

Der passendste Ausgangspunkt für alle räumlichen Bestimmungen der Anschauungsbilder unter sich ist der Kernpunkt des Sehraumes. Er hat an sich keinen bestimmten Ort, sondern eine räumliche Bestimmung ist für ihn nur insofern möglich, als wir seine Lage wieder beziehen auf andere gleichzeitig empfundene Theile des Sehraumes, und ebenso verhält es sich mit jedem andern Punkte des Sehraumes. Daher denn im Sehraume absolute Ortsbestimmungen, (d. h. hier solche, die dem wirklichen Raume entsprechen oder zu den wirklichen Dingen in bestimmtem Grössenverhältniss stehen) zunächst nicht in Betracht kommen können, sondern es sich nur um Relationen der Einzelpunkte des Sehraumes unter sich handeln kann. Demgemäss ist auch kein anderes Maass an die Anschauungsbilder zu legen, als das Maass ihrer Verhältnisse untereinander; es handelt sich um Proportionen, nie um absolute (d. h. der Wirklichkeit entsprechende) Grössen.

Dem Kernpunkte des Sehraumes entsprechen auf der Doppelnetzhaut die beiden Netzhautmitten. Das räumliche Verhältniss, in welchem die von den andern Netzhautpunkten erweckten Bilder sich in der Anschauung, d. i. im Sehraume um den Kernpunkt herum gruppiren, ist abhängig von den Raumwerthen der einzelnen Netzhautpunkte oder den Raumgefühlen, welche von den Netzhautpunkten ausgelöst werden.

Es giebt nur drei räumliche Grundgefühle oder einfache Raumgefühle und dem entsprechend drei Systeme von Raumwerthen der Doppelnetzhaut. Das eine einfache Raumgefühl entspricht den Höhen-, das zweite den Breiten-, das dritte den Tiefenwerthen der einzelnen Netzhautstellen.

Jeder Netzhautpunkt hat einen besondern Höhen-, Breiten- und Tiefenwerth, dessen Grösse im Allgemeinen abhängig ist von dem

directen Abstande des Netzhautpunktes von der vertikalen oder horizontalen Trennungslinie, d. i. dem mittlen Längs- oder Querschnitt. Jeder Netzhautpunkt löst also ein Raumgefühl aus, welches aus drei, in bestimmten Verhältniss gemischten einfachen Gefühlsqualitäten zusammengesetzt ist.

Jedes einfache Raumgefühl zerfällt wieder sozusagen in eine positive und eine negative Qualität, wie dies schon oben in Betreff des Tiefengefühls erörtert wurde, welches einerseits als Nahgefühl, andererseits als Ferngefühl auftrat. Demnach könnte man auch von sechs einfachen Qualitäten der Raumempfindung sprechen.

Die vertikale Trennungslinie trennt die Netzhautstellen mit positivem Tiefen- und Breitenwerthe, von denen mit dergl. negativem Werthe; der Tiefen- und Breitenwerth der Trennungslinien selbst ist daher = 0; die entsprechenden Werthe der einzelnen Längsschnitte wachsen mit ihrem Abstande von dem mittlen Längsschnitte. Analog ist der Höhenwerth der horizontalen Trennungslinien = 0, während der positive oder negative Höhenwerth eines Querschnittes wächst mit seinem Abstande vom mittlen Querschnitt. Alle Punkte eines und desselben Querschnittes haben also einen und denselben Tiefen- und Breitenwerth, alle Punkte eines Querschnittes denselben Höhenwerth. Der Durchschnittspunkt des mittlen Längs- und Querschnittes, d. i. die Netzhautmitte bildet den Nullpunkt für die Raumwerthe nach den drei Dimensionen.

Jeder Netzhautpunkt löst also im Allgemeinen ein aus drei einfachen Raumgefühlen gemischtes Raumgefühl aus, welches je nach der Einzelstärke der einfachen Raumgefühle verschieden ist. Auf diese Weise wird jedem Bildpunkte im Sehraume ein ganz bestimmter Ort relativ zum Kernpunkte angewiesen; denn wie in der Geometrie die Lage eines Punktes bestimmt ist durch seine räumliche Beziehung auf drei Coordinaten, so der Ort eines Bildpunktes durch die drei einfachen, wenngleich zu einem Mischgefühl vereinigten Raumgefühle, die er im Sensorium auslöst. Oder wenn man sich die drei, durch Reizung eines bestimmten Netzhautpunktes ausgelösten Raumgefühle als Kräfte denkt, welche im Kernpunkte des Sehraumes in drei zu einander rechtwinkligen Richtungen angreifen, und die Resultante der drei Kräfte construirt, so giebt der Endpunkt dieser Re-

Gestalten unter sich [illegible]
gen Abhängigkeit in [illegible]
hältnissen der Ein[illegible]
recten räumli[illegible]
dern und den [illegible]
sie die Project[illegible]
die Rede se[illegible]
function[illegible]
Der [illegible]
gen der
mes. [illegible]
Bestim[illegible]
der [illegible]
me[illegible]
ra[illegible]
h[illegible]

[illegible] des betreffenden Netzhaut-
[illegible]
[illegible]zeichen oder qualitativ ver-
[illegible] wir unserer Theorie zufolge nur
[illegible]fühle, durch deren Mischung in
[illegible]nissen es möglich wird, dass
[illegible] räumlich charakterisirt ist.
[illegible]ischen Höhen- und Breitenwerth,
[illegible] nach Höhe und Breite einerlei
[illegible] rechten Netzhaut oder auf der Deck-
[illegible]det ist. Zwei Gegenpunkte haben
[illegible] es in Betreff der Tiefenwahrnehmung
[illegible] auf der rechten Netzhaut oder an sym-
[illegible] Netzhaut abgebildet ist.
[illegible] sind zugleich identisch und sym-
[illegible] ihren Bildern identische Raumwerthe
[illegible] erscheinen, bei Ausschluss erworbener Mo-
[illegible] durch den Kernpunkt des Sehraumes
[illegible] vertikalen Geraden, der Axe des Seh-
[illegible] Hefte bezeichnete.
[illegible] entgegengesetzte Tiefenwerthe, daher
[illegible] in der Kernfläche des Sehraumes erscheinen,
[illegible] sich eben zu 0 ausgleichen. Dies ist
[illegible] wenn beide Bilder einander möglichst gleich
[illegible] Bilder ungleich sind und das eine das andere
[illegible] sobald wird dies Bild auch infolge seines
[illegible] vor oder hinter der Kernfläche erscheinen.
[illegible] Tiefsehen möglich.
[illegible] Doppelcentra für die Be-
[illegible] für die Höhen-, eines für die Brei-
[illegible] Jedes dieser Centra wird
[illegible]gefühle (oder vielmehr von dem,
[illegible] psychophysischen Vorgange) ange-
[illegible] aber verschieden starken Erregung
[illegible] die möglichen Bewegungen des Dop-
[illegible]

Die Annahme der drei motorischen Centra wird gestützt durch mancherlei anderweite Thatsachen aus der Physiologie des motorischen Nervenlebens, Thatsachen, deren Erörterung jedoch anderswohin gehört.

Wie gezeigt wurde, darf man in die Betrachtung der primitiven Raumempfindung den Begriff der Sehrichtung gar nicht einführen. Dagegen ist es zweckmässig, sich den ganzen Sehraum, entsprechend der Theilung der Netzhaut durch Längs- und Querschnitte, durch Ebenen eingetheilt zu denken. Auf diese Weise erhalten wir drei Systeme paralleler Ebenen, die sich rechtwinklig durchschneiden. Je eine Ebene eines solchen Systems, d. i. die mittle Längs-, Quer- und Tiefebene entspricht den Mittelschnitten der Netzhäute; nicht etwa insofern, als ob ursprünglich irgendwelche räumliche Relation zwischen diesen Netzhautlinien und den gedachten Schnittebenen des Sehraumes bestände, denn der Sehraum und der wirkliche Raum (sammt der wirklichen Netzhaut) sind völlig incommensurabel, sondern lediglich insofern, als die Bilder jener mittlen Netzhautschnitte (Trennungslinien) in den entsprechenden mittlen Schnittebenen des Sehraumes erscheinen. Die Bilder der mittlen Längsschnitte erscheinen in der mittlen Tiefebene, d. h. also in der Durchschnittslinie beider (d. i. der Axe oder Kernlinie des Sehraumes); die Bilder der mittlen Querschnitte erscheinen in der mittlen Querebene des Sehraumes (die für gewöhnlich der Blickebene entspricht). Der Ort eines Bildpunktes im Sehraum ist bestimmt, wenn man die Längs-, Quer- und Tiefebene kennt, in welcher er liegt. Die drei Mittelebenen durchschneiden sich im Kernpunkte des Sehraumes, welcher also sozusagen der primitive Mittelpunkt des Sehraumes ist. Die mittle Tiefebene entspricht der oben als Kernfläche des Sehraumes bezeichneten Fläche.

Es ist ersichtlich, dass bei diesem primitivsten Raumsehen keine Beziehung auf fern und nah existirt; denn diese kommt erst dadurch hinein, dass sich das Ich den Anschauungsbildern gegenüberstellt und das Vorstellungsbild unseres Leibes jederzeit in den Sehraum mit hineinconstruirt wird. Daher wächst ursprünglich auch nicht die scheinbare Grösse mit der scheinbaren Ferne, sondern gleichviel, ob die Bilder gemäss ihrem positiven oder negativen Fernwerthe auf der einen oder andern Seite der Kernfläche localisirt werden, behalten sie

doch dieselbe, durch ihre Breiten- und Höhenwerthe bedingte scheinbare Grösse.

Sofern aber das räumliche Ich als solches sich von der Gesammtmasse des räumlich Empfundenen absondert und sich dem Uebrigen gegenüberstellt, sobald tritt auch das Beziehen der scheinbaren Lage der Anschauungsbilder auf den Ort ein, den das räumliche Ich einnimmt, und sobald darf auch von einer Richtung des Gesehenen gesprochen werden. Die Durchschnittslinien der Längs- und Querebenen des Sehraumes sind diese Sehrichtungen. Sie sind also ursprünglich parallel. Aber da sich das Ich gewissermassen zum Mittelpunkte des Sehraumes gemacht hat, wird es zugleich zum Ausgangspunkt der Sehrichtungen und demzufolge sind dieselben nun als divergent in den Sehraum ausstrahlend anzunehmen. Hiermit steht nun das Grössersehen des ferner Erscheinenden in Einklang. Dies Grösser*sehen* des doch im Grunde gleichgross *Empfundenen* ist also im Vergleich zum ganz primitiven Raumsehen ein secundärer Process. Der Maassstab, mit dem das Gesehene gleichsam abgeschätzt wird, ist nun ein veränderlicher, obgleich die primitive Empfindung eigentlich dieselbe bleibt.

Man kann fortwährend den durch die Divergenz der Sehrichtungen entstehenden Widerstreit der reinen Empfindung gegen das Grössersehen des Ferneren beobachten. Bringt man z. B. eine Stricknadel nahezu horizontal in die Medianebene, befestigt an jedem Ende ein Kügelchen, und sucht mit den Augen den Punkt der Nadel, bei dessen Fixation das Doppelbild des ferneren Kügelchens gerade dicht über dem des näheren erscheint: so empfindet man die Distanz der zwei ferneren Trugbilder nicht grösser als die der zwei näheren und ist sich dessen auch sehr wohl bewusst. Gleichwohl schätzt man die erstere Distanz viel grösser als die zweite, und auch die Trugbilder der Nadel scheinen sich durchaus nicht in ihrer Mitte zu durchschneiden, sondern die beiden jenseits des Kernpunktes liegenden Schenkel des Doppelbildes scheinen länger zu sein, als die diesseits gelegenen. — Eine weitere Erörterung des Verhältnisses zwischen der scheinbaren Ferne und scheinbaren Grösse kann hier, als zuweit abführend, nicht gegeben werden. Ich will jedoch noch auf das schon in § 2 Gegebene verweisen.

Wenn ich hier das Grössersehen des scheinbar Ferneren als einen, im Vergleich zur primitiven Raumempfindung secundären Vorgang bezeichnet habe, so will ich damit nicht gesagt haben, dass das Fernere nur auf Grund der Erfahrung und des Urtheils und nicht vielleicht auch auf Grund eines angeborenen, rein sinnlichen Mechanismus grösser gesehen werde. Es soll damit nur gesagt sein, dass hierbei zwei Factoren concurriren, von denen der eine willkührlich als der primäre, der andere als der secundäre bezeichnet worden ist. Auf Grund jenes einen (primären) Factors wird das Fernere so gross gesehen wie das Nähere, sobald Beiden gleichgrosse Netzhautbilder entsprechen, und hierauf beruht die, von mir in § 2 sogenannte gleichmässige Vergrösserung des gesammten Netzhautbildes. Auf Grund des zweiten Factors aber wird der ganze Sehraum scheinbar um so grösser, je ferner das Ding rscheint, welches eben unsere Aufmerksamkeit fesselt.

§ 125.

Vom Stereoskope.

Nach der vorstehenden Entwicklung der Theorie des binocula- iefsehens ist über die sogenannten stereoskopischen Versuche hinzuzufügen. Nur einige kritische Bemerkungen mögen noch nden.

durch, dass WHEATSTONE seine stereoskopischen Versuche einem Angriff auf die Identitätslehre benützte, wurde die ung der ganzen Frage von vornherein in eine einseitige Bahn Man legte fortan das Hauptgewicht auf das Einfachsehen raten Stellen und fragte, ob ein solches wirklich bestehe, erklären und mit der Identitätslehre in Einklang zu setzen Tiefenwahrnehmung wurde nur nebenbei berücksichtigt, wie dies z. B. VOLKMANN that, ganz beiseite gelassen, so- bekannten Abhandlung dieses verdienten Forschers über kopischen Erscheinungen von letzteren eigentlich gar nicht st, sondern fast ausschliesslich das »Verschmelzen« von ern ohne Rücksicht auf die Tiefenwahrnehmung behan-

igentliche Erklärung der Stereoskopie hat VOLKMANN icht versucht; sein Streben ging nur darauf, nachzuwei- »Verschmelzung« disparater Bilder »psychologisch« zu Aber wenn nun auch diese Verschmelzung psycholo-

gisch erklärt war, so blieb doch die Hauptsache, d. h. die Tiefenwahrnehmung noch zu erklären.

Nun sind allerdings zwei Erklärungsversuche der stereoskopischen Erscheinungen gemacht worden. Der eine ist der schon oben besprochene BRÜCKE'sche; danach würde die Tiefenwahrnehmung aus der wechselnden Convergenz der Sehaxen und den dadurch erregten Muskelgefühlen zu erklären sein. Abgesehen davon, dass in den Muskeln keinerlei Gefühle entstehen, welche auf die räumliche Auslegung der Sinneswahrnehmung irgendwelchen Einfluss hätten, abgesehen ferner von der zuerst durch DOVE constatirten Thatsache der Tiefenwahrnehmung bei Ausschluss der Bewegung und der durch VOLKMANN und PANUM nachgewiesenen relativen Langsamkeit der Augenbewegung, widerlegt sich die BRÜCKE'sche Theorie hinreichend durch die von vielen Seiten constatirte Thatsache, dass das Einfachsehen zur Tiefenwahrnehmung gar nicht nöthig ist, sondern dass auch beim Doppeltsehen der Doppelbilder die Tiefenwahrnehmung in gesetzmässiger, wenn auch nicht so eindringlicher Weise eintritt (vergl. § 126 über den Ort der Trugbilder).

Nachdem BRÜCKE's Theorie in ihrer ursprünglichen Form nicht mehr zu halten war, meinte man wohl auch, sie dadurch retten zu können, dass man sagte, es sei gar nicht nöthig, dass alle Doppelbilder wirklich durch Aenderungen der Convergenz auf identische Stellen geschoben würden, sondern es genüge zum Einfachsehen unsere auf Erfahrung basirende Ueberzeugung, dass eine Aenderung der Augenstellung (in diesem oder jenem Sinne) die Doppelbilder zu einfachen Bildern machen würde; daher es denn gar nicht nöthig sei, die Bewegung allemal erst auszuführen. Auch dieser Ansicht kann ich nicht beipflichten; denn sie macht das zum Ergebniss der Erfahrung, was lediglich Sache des primitivsten Empfindens ist. Auffällig aber war es, dass dieser Ansicht von Vertretern der Identität gehuldigt werden konnte; für die zeitherige Identitätslehre waren gekreuzte Doppelbilder genau gleichwerthig den ungekreuzten, und es war nicht abzusehen, wodurch man beide unterscheiden sollte.

Der zweite Erklärungsversuch wurde von PANUM gemacht. Dieser vorzügliche Beobachter gab sich mit aller Unbefangenheit den Thatsachen hin, und es war die natürliche Folge seiner Unbefangenheit, dass er überall auf die richtige Behauptung zurückkam, der

stereoskopische Effect müsse auf einer angebornen Empfindungsqualität beruhen. Denn diese Ansicht muss sich jedem aufdrängen, der ohne Vorurtheil die stereoskopischen Versuche studirt. PANUM analysirte nicht bloss die stereoskopischen Erscheinungen noch weiter, als es WHEATSTONE gethan, sondern er bereicherte auch dieses Gebiet durch die wichtigen Versuche, welche lehren, dass zur Herstellung des stereoskopischen Eindrucks gar nicht die Verschmelzung zweier Trugbilder nöthig ist, sondern dass auch ein Trugbild, sozusagen die Hälfte eines Doppelbildes, dazu ausreicht (vergl. § 126). Ferner untersuchte PANUM die schon von JOH. MÜLLER erörterte Thatsache des Farbenwettstreites und die Herrschaft der Contouren noch weiter in exacter und fruchtbarer Weise. Leider aber fand diese ausgezeichnete Arbeit nicht die verdiente Würdigung, sondern es erhob sich nur eine lebhafte Polemik gegen einige nebenbei gemachte Bemerkungen des Verfassers. PANUM hatte die Grenzen der Disparation untersucht, innerhalb deren ihm noch zwei Bilder verschmolzen, und nannte den Spielraum der Disparation, in welchem das Bild eines Punktes auf der einen Netzhaut liegen durfte, um mit einem unveränderlich liegenden Punktbilde auf der andern Netzhaut einfach gesehen zu werden, den correspondirenden Empfindungskreis des letzteren Netzhautpunktes. Es war aus Allem ersichtlich, dass PANUM hier nur einen functionellen Empfindungskreis meinte und nichts weiter that, als dass er die Thatsachen unter einen einfachen Ausdruck brachte: statt dessen wurde ihm imputirt, er habe von anatomischen Empfindungskreisen im Sinne E. H. WEBER's gesprochen, und über der Polemik gegen diesen angeblichen Irrthum wurde nicht nur der treffliche Hauptinhalt der Arbeit, sondern auch das Irrige derjenigen Hypothese vergessen, welche PANUM zur eigentlichen Erklärung der stereoskopischen Tiefenwahrnehmung aufgestellt hatte, und laut welcher die Augen die relative Lage zweier Richtungslinien zueinander empfinden sollten (»Empfindung der binocularen Parallaxe«). Diese Hypothese, die PANUM allerdings nur nebenbei gab, ist nur eine Umschreibung dessen, was erklärt werden soll. Ich glaube dieselbe schon in § 55—62 hinreichend widerlegt zu haben. Nach PANUM haben NAGEL und WUNDT diese Hypothese weiter ausgeführt, d. h. auch sie haben angenommen, der stereoskopische Eindruck entstehe dadurch, dass disparat liegende

Bildpunkte auf den Durchschnittspunkt ihrer beiden Richtungslinien bezogen würden, nur dass sie dies nicht aus einer »Empfindung«, sondern aus einer »unbewussten Construction« seitens der »Seele« erklärten. NAGEL und noch mehr WUNDT haben überhaupt die ganze Lehre vom binocularen Sehen auf den Kopf gestellt und in unerhörte Widersprüche mit den Thatsachen der Erfahrung hineingetrieben. —

Je ungebildeter ein Sensorium ist, desto weniger unterscheidet es; die Feinheit der Unterscheidung wächst mit der Uebung. Wie das nicht musikalische Ohr einen Accord für ein Ganzes, sozusagen für eine einfache Empfindung nimmt, während der nur einigermassen Musikalische drei und mehr Töne darin unterscheidet, wie überhaupt die feinere Unterscheidung verwandter Empfindungen selbst beim Erwachsenen nicht ohne längere Uebung möglich ist: so dürfen wir auch annehmen, dass das primitive Sensorium selbst sehr differente Empfindungen nur nach und nach unterscheiden lernt.

Die Licht- und Raumempfindungen werden sich in dieser Beziehung nicht anders verhalten; unterscheidet doch der Maler die Farben unendlich feiner als der Bauer, erkennt doch der Physiolog am Ende einer langen Versuchsreihe kleinere Distanzen als im Anfange. Was ist natürlicher, als dass auch zur Unterscheidung der Doppelbilder Uebung gehört, und dass der gewöhnliche Mensch nichts von denselben weiss? Hat er doch niemals Gelegenheit, sie als doppelt unterscheiden zu lernen; denn sie dienen ihm gleichsam nur zur Anmeldung von Dingen, die betrachtet sein wollen, und sein Blick gleitet, sobald sie sich bemerklich gemacht haben, sofort unter Leitung der Raumgefühle zu ihnen hin: so sieht er allemal das einfach, was er überhaupt genauer sehen will, und die Doppelbilder werden als solche nie Object einer genaueren Analyse.

Aber, wendet man ein, wenn das indirecte Sehen so flüchtig ist, dass nicht einmal die bisweilen räumlich so sehr verschiedenen Doppelbilder als doppelt unterschieden werden, wie ist es möglich, jene feinen Unterschiede in der Anordnung der Bilder nach der Tiefe zu erkennen, wie dies bei feineren stereoskopischen Versuchen auch dem Ungeübten möglich ist? die Antwort ist leicht. Eine in einer Reihe von Accorden erklingende Melodie hört auch der Unmusikalische als eine Melodie, d. h. als eine Reihenfolge unterschiedener

Tonempfindungen. Er unterscheidet also jeden Accord von dem nächstfolgenden, aber nicht in jedem Einzelaccorde die verschiedenen einfachen Töne, aus denen er zusammengesetzt ist. So unterscheidet man auch beim stereoskopischen Sehen eine Anzahl vermeintlich einfacher Empfindungen sehr fein von einander, sowohl nach der Höhe und Breite als nach der Tiefe; aber hierbei bleibt man stehen, denn man ist nicht geübt genug, um mit absolut festem Blicke nun auch noch die zunächst für einfach genommenen Doppelbilder in ihre Bestandtheile aufzulösen und jedes der beiden Trugbilder für sich zu erkennen. Jedes Doppelbild gleicht sozusagen einem Accord von Raum- und Lichtempfindungen.

Wenn mehrere wirklich einfache Empfindungen zu einer scheinbar einfachen Gesammtempfindung zusammenfliessen, hat doch jede Einzelempfindung ihren Antheil an der Gesammtempfindung. So haben auch die doppelten Licht- und Raumempfindungen, welche ein Doppelbild enthält, sämmtlich Antheil an der einfachen Gesammtempfindung, welche daraus resultirt. Daher geht für die Empfindung eigentlich nichts verloren.

Zwei Empfindungen werden selbstverständlich um so schwieriger unterschieden, je ähnlicher sie sind. Die Aehnlichkeit zweier Gesichtsempfindungen kann eine doppelte sein, d. h. räumlich oder in der Farbe. Daher werden 1) gleichgestaltete Bilder, weil sie analoge Complexe von Raumempfindungen auslösen, 2) einander im Sehraum sehr benachbarte Bilder, weil sie auf nah verwandten Raumempfindungen beruhen, und 3) ähnlich gefärbte Bilder am schwierigsten von einander unterschieden. Wenn man, wie dies besonders VOLKMANN an zahlreichen Beispielen erörterte, die Aehnlichkeit zweier Bilder in einer der drei erwähnten Beziehungen mindert, so werden sie natürlich fortan leichter unterschieden. Aber dies beruht nicht, wie VOLKMANN wollte, darauf, dass die »Seele« etwa folgendermaassen calculirt: die Bilder sind so verschieden, folglich werden sie wohl nicht einem und demselben Gegenstande entsprechen, folglich sehe ich sie zweckmässiger doppelt, — sondern es beruht auf dem ganz allgemein gültigen Erfahrungssatze, den man ebenso einen physiologischen als einen psychologischen nennen kann, dass zwei Empfindungen um so schwerer zu sondern sind, je ähnlicher sie sind. Wenn man daher mit VOLKMANN »psychisch« erklären will, so muss

man nicht das »Verschmelzen« der Doppelbilder für einen Act psychischer Arbeit halten, denn das Einfachsehen der Doppelbilder ist ein ganz primitiver Zustand, sondern man muss das Doppeltsehen der Doppelbilder »psychisch« erklären; dieses lernt man allerdings erst durch Uebung und Aufpassen. Ueberhaupt findet, wenn man einmal »psychisch« reden will, ein Verschmelzen der Doppelbilder seitens der Seele gar nicht statt, denn verschmolzen sind sie von vornherein, verschmolzen sind überhaupt alle gleichzeitigen Empfindungen, welche nicht gesondert werden; vielmehr darf man nur von einem Ausbleiben der im Grunde doch möglichen Sonderung zweier Bilder sprechen.

Diese Sonderung aber erlernt man durch Uebung. Man lernt mit der Zeit doppelt sehen, wo Andere einfach sehen. Ich selbst empfinde fast alle einfachen, nur mit Linien und Punkten ohne Schattirung ausgeführten stereoskopischen Zeichnungen doppelt, soweit sie sich nicht identisch abbilden. Aber was auf Deckstellen liegt, kann ich nie doppelt empfinden, höchstens kann ich die beiden durcheinander gehenden Zeichnungen in verschiedener Entfernung sehen und die stets einfach empfundenen Farben abwechselnd auf die näheren oder ferneren Contouren beziehen.

Das Einfachsehen mit disparaten Netzhautstellen beruht also nicht darauf, dass gesondert ins Bewusstsein getretene Empfindungen erst nach Analogie der Erfahrung, oder durch das neuerdings beliebt gewordene, innerhalb des Bewusstseins unbewusst vor sich gehende Schlussverfahren, also jedenfalls durch einen psychischen Act verschmolzen werden, sondern es beruht darauf, dass ins Bewusstsein tretende gemischte Empfindungen nicht in ihre Bestandtheile aufgelöst werden, sondern bleiben, was sie sind, ein an sich zwar Unterscheidbares aber nicht Unterschiedenes.

Das Einfachsehen mit Deckstellen ist andersartig; hier handelt es sich nicht um das Ausbleiben einer an sich möglichen Sonderung, sondern hier muss einfach empfunden werden, weil nichts mehr zu sondern ist. Die Erregungen identischer Stellen geben in jedem einzelnen Augenblicke eine einfache, wenngleich zuweilen im Wettstreite der Netzhäute veränderliche physiologische Resultante, die sich im Bewusstsein nicht wieder in ihre zwei Factoren auflösen lässt.

§ 126.

Vom Orte der Trugbilder.

Der Laie weiss nichts oder nur zufällig von Doppelbildern. Wir können daher, ohne uns erheblich von der Wahrheit zu entfernen, die Doppelbilder im Allgemeinen für eine Folge besonderer Aufmerksamkeit und Uebung erklären. Dass sie beim gewöhnlichen Sehen nicht wahrgenommen werden, beruht wie gesagt, abgesehen von andern bekannten Gründen, vorzugsweise auf dem ganz allgemein gültigen Umstande, dass zwei Empfindungen um so schwerer gesondert werden, je näher sie einander verwandt sind. Die Doppelbilder sind aber im Allgemeinen einander sehr ähnliche Farben- und Raumempfindungen. Ausserdem ist schon erwähnt worden, inwiefern die grosse Beweglichkeit des Auges und die im Allgemeinen geringe Achtsamkeit auf die excentrischen Netzhautbilder für gewöhnlich alle Uebung im Auflösen eines Doppelbildes in seine Einzelbilder vereitelt.

Durch Uebung im festen Fixiren und im indirecten Sehen erlangt man zugleich eine grosse Fertigkeit im Unterscheiden der Bestandtheile eines Doppelbildes, d. h. im Doppeltsehen. Angenommen nun, man hat diese Fertigkeit erworben, so fragt sich, w o sieht man die Trugbilder? Die sehr verbreitete Annahme, nach welcher die Trugbilder auf einer durch den Fixationspunkt gehenden Fläche erscheinen sollten, habe ich schon vor längerer Zeit widerlegt und zugleich gezeigt, dass die Hartnäckigkeit, mit welcher man diese Annahme vertheidigt hatte, lediglich aus dem Bedürfniss entsprang, das Erscheinen der Trugbilder mit der Richtungslinientheorie in Einklang zu setzen. Neuerdings haben nun auch Volkmann und Helmholtz sich von jener älteren Annahme losgesagt. Jedem Unbefangenen wird es leicht sein, sich zu überzeugen, dass die Trugbilder im Allgemeinen weder in einer durch den Fixationspunkt gehenden Ebene, noch auf den Richtungslinien oder Visirlinien erscheinen.

Die Motive der Localisation der Trugbilder fliessen im Wesentlichen aus zwei Quellen; diese sind erstens die Raumgefühle der Netzhaut, zweitens die Erfahrung im weitesten Sinne des Wortes.

Die Localisation der Trugbilder auf Grund der Erfahrung habe ich schon früher nebenbei berücksichtigt, als ich das Schema für die Sehrichtungen der Trugbilder entwickelte. Um einen Anhalt für den Ort zu haben, welchen ein Trugbild auf der ihm (nach dem Gesetze der identischen Sehrichtungen) zukommenden Sehrichtung einnimmt, habe ich den idealen Fall gesetzt, die Trugbilder würden relativ zum Kernpunkte des Sehraumes so localisirt, wie sie relativ zum Fixationspunkte wirklich liegen; denn in der That ist das ideale Ziel aller auf Grund der Erfahrung und des Urtheils erfolgenden Localisation dieses, die Bilder in derselben relativen Anordnung zu sehen, welche den entsprechenden Dingen in Wirklichkeit zukommt. Aber ich habe natürlich von Anfang an und später wiederholt darauf hingewiesen, dass diese Annahme nur gemacht sei, um ein Schema zu gewinnen, und dass das gegebene Schema nur in Betreff der Sehrichtungen der Trugbilder streng gültig sei. Dies muss ich hier, erfolgten Missverständnissen gegenüber, nochmals wiederholen.

Jetzt handelt es sich nun aber nicht mehr um erworbene Motive der Localisation, sondern um die Tiefenlocalisation der Trugbilder auf Grund der Tiefenwerthe ihrer Netzhautbilder.

Setzen wir den idealen Fall, jedes Trugbild wäre, so oft es gesehen wird, eben vollständig siegreich über die Reizung, die gleichzeitig von der zugehörigen Deckstelle der andern Netzhaut kommt, so würde jedes Trugbild denjenigen Tiefenwerth haben, welcher ihm durch seine Lage auf der Netzhaut zukommt. Das Schema für den Ort der Trugbilder wäre dann leicht zu entwerfen. Allein mancherlei Umstände vereiteln die Gültigkeit eines solchen Schema's. Während nehmlich beim gewöhnlichen Sehen allerdings die Doppelbilder meist mit ihren vollen Tiefenwerthen in das Sensorium eintreten, weil durch die fortwährenden Bewegungen der Augen die bezüglichen Contouren auf immer andere Netzhautstellen treten und dadurch ihre Tiefenwerthe immer gleichsam wieder auffrischen, sodass sie stets Sieger im Wettstreite bleiben: geht bei festem Stillstand der Augen jedes Trugbild im Wettstreite periodisch unter, d. h. es wird übertönt von der andersartigen Empfindung, welche die bezügliche Deckstelle des andern Auges erweckt, und es mischt sich demnach nicht nur des Trugbildes Farbe mit der Farbe dieser Deckstelle, sondern auch sein Tiefenwerth mit dem entgegengesetzten Tiefenwerthe der

Deckstelle. Daher oscillirt das Trugbild in der Farbe sowohl als in Betreff seines Tiefenwerthes zwischen den zwei Extremen des Wettstreites hin und her, und der somit veränderliche Tiefenwerth bedingt es, dass das Trugbild, jemehr es erblasst, um so mehr sich der Kernfläche des Sehraums nähert und beim Erlöschen gleichsam in diese zurückfällt. Hierzu kommt nun noch, dass bei irgend ausgedehnten Trugbildern der Wettstreit nicht immer in allen Theilen des Trugbildes gleiche Phasen zeigt, dass vielmehr das Trugbild stückweise Sieger und Besiegter im Wettstreite ist, wodurch eine sichere und feste Localisation ganz unmöglich wird. Drängen sich auf diese Weise Stücke des auf der betreffenden Deckstelle der andern Netzhaut liegenden Bildes mit ihren entgegengesetzten Tiefenwerthen in das Trugbild derart hinein, dass sie gleichsam Bestandtheile desselben werden, so kann die Localisation sogar entgegengesetzt der a priori zu erwartenden ausfallen.

Daher verliert das Tiefsehen oder sogenannte stereoskopische Sehen sofort an Eindringlichkeit und Sicherheit, sobald (man anhaltend fest fixirt und demzufolge) die Doppelbilder nicht mehr einfach gesehen werden, sondern sich für die Wahrnehmung in ihre beiden Trugbilder auflösen. Daher auch vermag der im Doppeltsehen sehr Geübte die einfachen, nicht schattirten, nur mit Punkten und Linien auf gleichfarbigem Grunde ausgeführten stereoskopischen Zeichnungen öfters gar nicht mehr oder nur mühsam stereoskopisch zu sehen, während sie dem Ungeübten den schönsten Eindruck machen.*) Natürlich gilt dies nicht von den complicirteren Stereoskopenbildern, bei denen Licht und Schatten, Perspective etc. mitwirken.

Während also die Tiefenlocalisation der Trugbilder durch den Wettstreit der Netzhäute eine grosse Unsicherheit bekommt, gilt nicht dasselbe von ihrer Localisation nach Breite und Höhe. Denn der Höhen- und Breitenwerth kann vermöge des Gesetzes vom com-

---

*) So sah ich neulich eine nur mit Punkten ausgeführte stereoskopische Zeichnung wieder, welche ein Polyeder darstellte und mir früher einen überraschenden stereoskopischen Effect gemacht hatte. Ich war nicht mehr im Stande, die Gestalt des Polyeders zu erkennen, obgleich ich den Fixationspunkt absichtlich wechselte und den Blick gleichsam über dem Bilde hin- und herschweifen liess.

plementären Antheil der Netzhäute am Sehraume durch den Wettstreit nicht alterirt werden; deshalb nicht, weil die beiden in den Wettstreit eintretenden Höhen- und Breitenwerthe nicht nur gleiche Grösse, sondern auch gleiches Vorzeichen haben. Beide Werthe leiden also ebensowenig unter dem Wettstreite, als das auf Deckstellen fallende Weiss (vergl. § 121). Hierauf beruht die Sicherheit in der Localisation der Trugbilder nach Höhe und Breite.

Die durch den Wettstreit der Tiefenwerthe bedingte Unsicherheit der Tiefenlocalisation der Trugbilder, sofern diese Localisation nur auf Grund der Raumgefühle der Netzhaut erfolgt, ist Ursache, dass die folgenden Versuche mit Trugbildern nicht so zwingend scheinen, wie die stereoskopischen Versuche mit einfach gesehenen Doppelbildern. Deshalb werde ich besonders solche Versuche vorführen, welche auch von andern Forschern angestellt worden sind, Forschern, welche nicht für die im Obigen entwickelte Theorie voreingenommen sein konnten. Man wird finden, dass die Uebereinstimmung ihrer Angaben mit den Forderungen der Theorie eine durchgehende ist.

a. Gekreuzte doppelseitige Trugbilder erscheinen diesseits, ungekreuzte doppelseitige jenseits der Kernfläche. Fixirt man einen Punkt symmetrisch, so sieht man die beiden Trugbilder eines in der Medianlinie gelegenen Objectes näher oder ferner als den fixirten Punkt, je nachdem das Object diesseits oder jenseits des Fixationspunktes liegt. Es haben nehmlich gekreuzte doppelseitige Trugbilder, weil sie den äussern Netzhauthälften angehören, Nahwerthe, ungekreuzte, als den innern Netzhauthälften angehörig, Fernwerthe relativ zum Kernpunkte des Sehraumes. Helmholtz hat neuerdings diese von mir wiederholt hervorgehobene Thatsache bestätigt.*)

b. Bringt man zwei Kügelchen auf feinen Drähten an, oder hängt sie an feinen Fäden auf, sodass sie horizontal nebeneinander quer vor dem Gesichte liegen und eine geringere Distanz als die Augen haben, so kann man die zwei innern Trugbilder der Kugeln bekanntlich durch entsprechende Stellung der Augen zusammenschie-

*) Archiv f. Ophthalmol. Bd. X. Abth. I. S. 27.

ben und einfach sehen. Gleichzeitig erscheinen die beiden andern, excentrisch gelegenen Trugbilder nicht in gleicher Ferne, wie das verschmolzene Kugelbild, sondern näher; sofern sich nämlich die Gesichtslinien hinter den Kugeln kreuzen. Auch dies widerspricht der Annahme, dass alle Doppelbilder in gleicher Ferne wie der Fixationspunkt erscheinen. Die Erklärung dieser ebenfalls bis jetzt unerklärten Thatsache ergiebt sich nun leicht. Die beiden excentrischen Bilder fallen auf symmetrische Stellen der äussern Netzhauthälften, bekommen also relativ zum Kernpunkte des Sehraumes, d. i. zum scheinbaren Ort des verschmolzenen Kugelbildes, einen Nahwerth und erscheinen demnach näher.

Kreuzt man die Gesichtslinien vor den Kugeln, so stellen die excentrischen Bilder sozusagen ein ungekreuztes Doppelbild dar, liegen auf den innern Netzhauthälften und werden demnach jenseit der im Kernpunkt erscheinenden Kugel gesehen, wie der Versuch ebenfalls lehrt.

Benütze ich statt der frei im Raume befindlichen Kugeln z. B. Marken auf einem Papier, so erhalte ich ein ganz anderes Resultat, weil dann die erworbenen Motive des Tiefsehens die Raumgefühle der Netzhaut übertönen. Dies ist nicht etwa individuell, sondern verhält sich ebenso bei Andern. Niemand sieht, wie ich wiederholt erörtert habe, z. B. zwei auf Papier gezeichnete Buchstaben von der Distanz der Augen, wenn er auf jeden von beiden eine Gesichtslinie einstellt, als einen riesengrossen Buchstaben auf einem riesengrossen Papier in weitester Ferne, sondern einen einfachen Buchstaben von wenig geänderter Grösse und Ferne. Daher solche Versuche sehr geeignet sind, das angebliche Sehen nach Richtungslinien zu widerlegen.

Manche können, wenn sie die Gesichtslinien gekreuzt auf zwei solche Buchstaben oder Marken einstellen, einen einfachen Buchstaben vor dem Papiere schweben sehen; während auf dem Papiere selbst die beiden excentrischen Bilder erscheinen. Die Erklärung ist hier ebenso einfach. Die Entfernung des Papiers ist bekannt, daher es ungefähr da gesehen wird, wo es wirklich ist. Die excentrischen Trugbilder haben gemäss den Raumgefühlen der Netzhaut einen grössern Fernwerth, als der, den Kernpunkt des Sehraumes einnehmende Buchstabe; folglich erscheint letzterer näher, und erscheinen erstere ferner und erklärlicher Weise auf dem Papiere, welches den Hintergrund des Ganzen bildet. Ob der im Kernpunkt erscheinende Buchstabe hierbei gerade im Durchschnittspunkt der Gesichtslinien gesehen wird, ist für das Wesen des Versuchs gleichgültig. Das Nähererscheinen des mittlen Buchstabenbildes wird dadurch sehr unterstützt, dass Viele nicht fest fixiren können und die Augen aus der etwas anstrengenden Convergenz immer wieder in eine schwächere Convergenz zurückgleiten lassen. Die Folge

ist, dass nun auch das anfangs einfache Mittelbild wieder in zwei Bilder zerfällt, die ein gekreuztes Doppelbild darstellen und demnach ein Nahgefühl auslösen. Durch dieses Nahgefühl aber wird unwillkührlich die Convergenzmusculatur stärker innervirt, um die beiden Bilder wieder auf die Netzhautmitten zu bringen und zu verschmelzen. So liegt im Versuche selbst eine fortdauernde Gelegenheit zur Erweckung des Nahgefühles und dem entsprechender Localisation des Mittelbildes. Daher glaube ich auch, dass meine lange Uebung im festen Fixiren mich hindert, das Mittelbild näher zu sehen, als die seitlichen Bilder. Die Ruhe der Augen vereitelt das Zerfallen des Mittelbildes und somit auch eine Auffrischung des Nahgefühls; vielmehr wird letzteres durch die Erfahrungsmotive der Localisation übertönt. Denn in der That sehe ich das Mittelbild ein wenig ferner als die seitlichen, was sich aus der grösseren Entfernung des fixirten Buchstabens vom Auge erklärt.

c. Die beiden Trugbilder eines einseitigen, d. h. auf entsprechenden Netzhauthälften liegenden Doppelbildes haben, wie erwähnt, entgegengesetzte Tiefenwerthe, d. h. das eine müsste der Theorie nach vor, das andere hinter der Kernfläche erscheinen, sofern überhaupt beide Trugbilder unterschieden und nicht, wie gewöhnlich, ungesondert empfunden werden. Es ist vom höchsten Interesse und war mir ein zwingender Beweis für die wesentliche Richtigkeit der oben entwickelten Theorie, dass ich die einseitigen Doppelbilder bei ganz fester Fixation wirklich so sehe, wie es die Theorie fordert. Es handelt sich hierbei nicht um einen Einfluss der Reflexion, sondern die Erscheinung tritt auch gegen meine Intention ein, und oft wenn ich es am wenigsten erwarte. Halte ich eine Stecknadel nahe vor's Gesicht und fixire sie symmetrisch, halte ferner einen feinen schwarzen Draht ein wenig nach links von der linken Gesichtslinie, aber näher als die fixirte Stecknadel, sorge schliesslich durch passende Stellung der Blickebene und der Objecte dafür, dass alle Bilder auf Längsschnitte fallen und also parallel erscheinen: so sehe ich zunächst und überhaupt immer dann, wenn meine Augen sich irgendwie, wenn auch sehr wenig bewegen, die beiden Trugbilder des näheren Drahtes zwar gesondert, aber beide näher als die fixirte einfach erscheinende Stecknadel. Fixire ich aber anhaltend fest und concentrire meine ganze Aufmerksamkeit möglichst auf die fixirte Stecknadel, so tritt das eine, dem linken Auge angehörige Trugbild plötzlich hinter die Stecknadel und erscheint mit solcher Energie jenseit derselben, dass ich diesen Eindruck durchaus dem zwingenden Eindrucke vergleichen muss, mit welchem Stereoskopen-

bilder sich plötzlich in die Tiefe ausbreiten. Die Erscheinung tritt gerade dann am sichersten ein, wenn ich am wenigsten daran denke. Die geringste Schwankung des Blickes aber, oder auch nur der Gedanke an das zweite näher erscheinende Trugbild, versetzt das andere sogleich wieder vor die Kernfläche; denn es tritt dann die Beziehung beider Bilder auf ein und dasselbe Object ein und stört den rein sinnlichen Eindruck. Aber auch ganz von selbst verschwindet die Erscheinung, sobald das Trugbild infolge der Ruhe des Auges in eine ungünstige Phase des Wettstreites eintritt, wie dies oben erörtert wurde. Daher denn mancherlei sich vereinigt, um den Versuch zu stören. Ueberhaupt kann ich ihn nur Denjenigen empfehlen, die grosse Uebung im indirecten Sehen haben und wirklich fest fixiren können, nicht bloss es zu können glauben. Man lernt das feinste Doppeltsehen nicht in einem Jahre, auch nicht in zweien. — Der ganze Versuch lässt sich sofort umkehren, wenn man statt des ferneren den näheren Draht fixirt. Die sonstigen Modificationen ergeben sich gleichfalls von selbst.

d. Schliesslich gehören hierher einige zuerst von PANUM angegebene Versuche, bei denen es sich nicht eigentlich um Doppelbilder, sondern vielmehr um einfach vorhandene Trugbilder handelt. Bietet man unter dem Stereoskop dem rechten Auge einen Punkt oder Vertikalstrich *c*, dem linken dergl. zwei, *a* und *b*, so sieht man zwei Punkte oder Striche, von denen der linke ferner, der rechte näher erscheint. Dabei ist die rechte Gesichtslinie immer auf den ihrem Auge allein sichtbaren Pnnkt oder Strich *c*, die linke Gesichtslinie bald auf den linken *a*, bald auf den rechten *b* des ihrem Auge sichtbaren Punkt- oder Strichpaares *a*, *b* eingestellt. Bildet sich der linke *a* auf der linken Netzhautmitte ab, so fällt das Bild des rechten *b* auf die äussere Netzhauthälfte und bekommt einen Nahwerth, bildet sich dagegen der rechte *b* auf der linken Netzhautmitte ab, so fällt das Bild des linken *a* auf die innere Netzhauthälfte und hat somit einen Fernwerth. Ersterenfalls wird *a* und *c* zu einem Bilde verschmolzen und erscheint im Kernpunkt, während *b* vermöge seines Nahwerthes diesseit des Kernpunktes und zugleich nach rechts von letzterem erscheint; andernfalls werden *b* und *c* verschmolzen und *a* erscheint vermöge seines Fernwerthes jenseit des Kernpunktes aber nach links. Beidenfalls also erscheint das rechts liegende Bild

näher. Ganz analog ist es, wenn man in die Richtungsebene der rechten vertikalen Trennungslinie zwei parallele Drähte bringt, sodass dem rechten Auge der hintere durch den vordern verdeckt wird, während das linke Auge bald den einen, bald den andern fixirt.

§ 127.

Von der Lage des Kernpunktes relativ zum Ich.

Wie aus § 124 hervorgeht, darf man von einer Localisation des Kernpunktes nur sprechen, sofern sich bereits das Ich als ein räumliches Wesen den Anschauungsbildern gegenüberstellt. Denn für das rein primitive Sehen ist vielmehr der Kernpunkt des Sehraumes Ausgangspunkt aller Localisation. Man könnte daher das Verhältniss umkehren und vielmehr von einer Localisation des Ich relativ zum Kernpunkte des Sehraumes sprechen. Es wäre dies in einer Beziehung angemessener; aber ich folge hier dem in anderer Hinsicht auch berechtigten Sprachgebrauche.

Sobald sich im Bewusstsein das Ich als ein räumliches Wesen festgesetzt hat, wird es zum Ausgangspunkte der Localisation nicht sowohl der Einzelbilder als vielmehr des ganzen Sehraumes überhaupt. Denn die Einzelbilder des Sehraumes behalten zunächst ihre auf den Raumgefühlen der Netzhaut beruhenden Relationen unter sich und zum Kernpunkte bei, und man kennt also alle räumlichen Beziehungen des Ich zu den einzelnen Anschauungsbildern, wenn man das räumliche Verhältniss zwischen dem Vorstellungsbilde des eignen Leibes und der Kernfläche des Sehraumes kennt, denn in letzterem Verhältnisse sind die ersteren implicite mit enthalten.

Die Localisation des Kernpunktes nach der Dimension der Tiefe, d. h. die scheinbare Entfernung des fixirten Punktes soll nach den jetzt herrschenden Ansichten von den Muskelgefühlen abhängen, welche angeblich die Spannung der äusseren und inneren Augenmuskeln mit sich bringt. Auf Grund dieser Gefühle soll der Fixationspunkt da gesehen werden, wo er wirklich ist, d. h. im Durchschnittspunkte der Gesichtslinien.

Dass jedoch eine irgend genauere Kenntniss der Entfernung des fixirten Punktes lediglich auf Grund der Augenstellung nicht be-

steht, hat bereits WUNDT ausführlich gezeigt (Zeitschr. f. rat. Medic. III. Reihe. XII. Band. S. 146), und dass wir in zahllosen Fällen die Bilder der Netzhautmitten ganz wo anders sehen, als auf den Gesichtslinien, wurde von mir hinreichend dargethan. WUNDT ist trotzdem ein eifriger Vertheidiger der Muskelgefühle und will wenigstens die bekanntlich zweifellos mögliche Unterscheidung des Näheren vom Fernen auf diese Muskelgefühle zurückführen.

Analysiren wir aber die einzelnen Versuche, so lässt sich leicht zeigen, dass die Muskelgefühle eine überflüssige Annahme sind; ganz abgesehen davon, dass sie, wie aus zahlreichen anderweiten Versuchen hervorgeht, überhaupt nicht existiren.

Wenn wir in einen Raum blicken, der z. B. nichts enthält, als einen vertikalen Faden, und dessen Hintergrund der helle Himmel bildet, so werden dabei unsere Augen zunächst entweder parallel gerichtet sein, oder, wenn wir von vornherein Etwas in der Nähe befindliches vermuthen, eine von dieser Vorstellung der Nähe abhängige Convergenz haben. Ersteren Falls wird uns der Faden gekreuzte Doppelbilder geben, welche uns ein Nahgefühl erwecken. Dem entsprechend wird das motorische Centrum der Convergenzbewegungen innervirt, die Augen beginnen zu convergiren und diese Bewegung dauert so lange fort, als noch ein gekreuztes Doppelbild besteht, also auch das Nahgefühl noch ausgelöst wird. Wenn dann schliesslich die Fadenbilder auf die mittlen Längsschnitte fallen und zugleich die Augen zum Stehen kommen, so wird der Faden selbstverständlich näher gesehen werden, als er gesehen worden wäre, wenn er schon beim ersten Blicke identische Bilder gegeben hätte, und seine scheinbare Nähe wird um so bedeutender sein, je stärker und länger dauernd die Nahgefühle und je umfangreicher dementsprechend die Bewegungen der Augen gewesen sind. Daher denn die der Wirklichkeit einigermaassen entsprechende Localisation des Fadens ganz erklärlich ist. Die Annahme irgendwelchen Muskelgefühles wäre hierbei mindestens überflüssig.

Sind wir aber an den Versuch schon mit dem Vorurtheil gegangen, es befinde sich ein Object in der Nähe, so wird diese Vorstellung der Nähe die Augen schon zuvor in eine gewisse Convergenz gebracht haben, und je nachdem nun diese zufällig der wirklichen Ferne des Fadens entspricht, oder aber, wie meistens der Fall sein

wird, zu gross oder zu klein ist, wird der Faden ein ungekreuztes oder gekreuztes Doppelbild geben, und mit Hülfe des durch dasselbe erweckten Tiefengefühles die ungefähre Vorstellung, die wir von vornherein von der Lage des Objectes hatten, in dem oder jenem Sinne corrigirt werden.

Sind auf diese Weise die Gesichtslinien auf den Faden eingestellt worden, so wird immer noch ein anhaltendes Festhalten der Vorstellung der Nähe erforderlich sein, um die zur Erhaltung des bezüglichen Convergenzgrades nöthige Innervation der Musculatur fortbestehen zu lassen. Sobald aber diese Innervation nachlässt, werden auch die Augen beginnen, in ihre Ruhstellung zurückzugehen, d. h. ihre Convergenz wird sich mindern. Dabei gleiten die Bilder des Fadens von den mittlen Längsschnitten seitwärts auf die äusseren Netzhauthälften, bekommen also einen Nahwerth und lösen entsprechend ein Nahgefühl aus, welches seinerseits wieder eine Verstärkung der Convergenz zur Folge hat. So ist für eine immer neue Auffrischung des Gefühls oder der Vorstellung der Nähe gesorgt, und zwar wird diese Auffrischung um so häufiger und intensiver sein, je anstrengender die Augenstellung, d. h. je stärker die Convergenz der Gesichtslinien und je näher also der Faden ist.

Immer geht also hierbei Gefühl oder Vorstellung der Nähe den Convergenzbewegungen der Augen voran, ist Ursache nicht Folge dieser Bewegung. Daher, wie gesagt, die Erklärung des Nahsehens aus Muskelgefühlen nicht nur überflüssig, sondern auch als eine Umkehrung des wahren Sachverhältnisses erscheint.

Der Convergenzgrad der Augen als solcher, d. h. der Spannungszustand der betreffenden Muskeln hat also nach dieser Ansicht durchaus keinen Einfluss auf die Localisation des Kernpunktes relativ zum Ich, wie ich dies schon im ersten Hefte d. Beitr. ausgesprochen habe; vielmehr sind es allein die von der Netzhaut her ausgelösten Tiefengefühle, beziehendlich die aus anderweiten Motiven resultirende Vorstellung der Nähe oder Ferne, welche die scheinbare Tiefe des Fixationspunktes bedingen. Das Netzhautbild und die Erfahrung im weitesten Sinne des Wortes bestimmen allein die Sehferne des Kernpunktes, wie ich das schon früher hervorhob.

Da also die Convergenz- und Divergenzbewegungen der Augen

unter der Herrschaft der Tiefengefühle oder -vorstellungen stehen und sich unwillkührlich denselben anpassen, so ist für gewöhnlich eine gewisse Harmonie zwischen Augenstellung und Tiefsehen des Fixationspunktes die natürliche Folge: hieraus erklären sich leicht alle jene Versuche, welche zum Beweise dafür angeführt zu werden pflegen, dass aus den Muskeln stammende centripetal geleitete Gefühle die Tiefenlocalisation bestimmen sollen.

Was von den Convergenz- und Divergenzbewegungen der Augen gilt, das gilt auch von den innern Accommodationsbewegungen des Auges, sofern ja doch letztere Bewegungen den ersteren sich unwillkührlich associiren. Hierüber ist also für jetzt nichts hinzuzufügen und höchstens auf das zu verweisen, was ich schon in § 56 über diesen Punkt vorgebracht habe.

Wie die gegensinnigen Bewegungen des Doppelauges unter der Herrschaft der Tiefengefühle oder -vorstellungen, so stehen die gleichsinnigen Bewegungen unter der Herrschaft der Richtungsgefühle oder -vorstellungen, genauer der Gefühle oder Vorstellungen der Höhe und Breite. Die, der Richtung des binocularen Blickes (d. i. der Halbirungslinie des Convergenzwinkels) ungefähr entsprechende Lage der Hauptsehrichtung erklärt sich also ganz in derselben Weise ohne Hülfe der Muskelgefühle, wie die Tiefenlocalisation des Kernpunktes.

Die Localisation des Kernpunktes überhaupt ist also abhängig theils von den Raumgefühlen, welche die, das Sensorium eben beherrschenden Netzhautbilder auslösen, theils von der aus irgendwelchen Motiven der Erfahrung resultirenden Vorstellung, die wir uns von der Lage des fixirten Punktes machen, Erfahrungsmotiven, welche entweder aus früherer Zeit stammen, oder soeben erst bei einer mit Hülfe der Augenbewegung angestellten Durchmusterung des Sehraumes gewonnen wurden. Durch eine Aenderung der Localisation des Kernpunktes werden aber die innern Verhältnisse des Sehraumes (subjectiven Raumes) in nichts geändert; der gesammte Sehraum wird gleichsam als ein festes Ganze relativ zum Ich verschoben; es wird sozusagen die Lage des Coordinatensystems, auf welches die Bilder bezogen werden, relativ zum Vorstellungsbilde des Leibes geändert.

Nicht bloss willkührliche Bewegungen der Augen, sondern auch

solche des Kopfes oder ganzen Körpers haben solche relative Translocationen des gesammten Sehraumes zur Folge. Aber diese Translocation ist nicht abhängig von der wirklich ausgeführten Bewegung, sondern lediglich von der Vorstellung, die wir uns von der veränderten Lage unseres Doppelauges, Kopfes oder Körpers machen, gleichviel ob diese Vorstellung eine richtige ist oder nicht. Anderweite Erfahrungen über die wirkliche Lage der Aussendinge sind uns dabei fortwährend behülflich, unsere Vorstellung von der Lage unseres Körpers der Wirklichkeit entsprechend zu machen. Erzeugen wir uns ein strichförmiges Nachbild auf den mittlen Längsschnitten der Netzhäute, schliessen dann die Augen und neigen unsern Kopf und Oberkörper seitwärts, so neigt sich das Nachbild mit, d. h. der Sehraum folgt dieser unserer Bewegung. Neigen wir uns nun soweit seitwärts, bis das Nachbild scheinbar horizontal liegt und öffnen dann die Augen z. B. gegenüber einer Wand, so sehen wir zu unserer Ueberraschung das Nachbild auffallend schräg auf der Wand liegen und einen sehr starken Winkel mit den Horizontalcontouren der Wand machen. Die wirkliche Neigung des Kopfes entspricht nämlich bei dieser ungewohnten Bewegung nicht der Vorstellung, die wir uns von dieser Neigung machen; wir neigen den Kopf viel stärker als wir glauben. Demnach entspricht nun auch die Lage des Sehraumes nicht der Lage der Aussendinge. Sobald wir aber die Augen öffnen, erkennen wir die Täuschung; nun imponiren uns die Contouren der Wand als wirklich horizontale, und sofort corrigiren wir die falsche Lage des Sehraumes, drehen denselben gleichsam noch um das Stück weiter, um welches er hinter der Wirklichkeit zurückgeblieben ist, und sehen nun das Nachbild entsprechend schief. Derlei Beeinflussungen der scheinbaren Lage der Dinge durch unsere Erfahrung über das in der Aussenwelt wirklich Horizontale oder Vertikale kommen in jedem Augenblick vor. Und ebenso häufig sind auch anderweite Correcturen. Schliessen wir z. B. ein Auge und blicken mit dem andern auf eine vertikale, der Antlitzfläche parallele Ebene, so müsste uns diese gemäss den Tiefengefühlen der einen Netzhaut als eine zur Antlitzfläche schräg gestellte Ebene erscheinen. Aber wir localisiren sie doch nicht anders, als wenn wir sie mit beiden Augen sähen. Die Kernfläche des Sehraumes macht gleichsam eine Achtelswendung. Einäugige oder Jäger, die oft nur ein Auge

gebrauchen, beziehen die Lage der Dinge nicht mehr auf ihr Doppelauge, sondern nur auf das eine, mit welchem sie eben sehen, d. h. die Sehrichtungen gehen für sie nicht von der Mitte zwischen beiden Augen, sondern nur von einem Auge aus, denn sie lernen allmählich dem Sehraume eine constant andere Lage relativ zum Ich zu geben, welche der Wirklichkeit besser entspricht, als die ursprüngliche. Der Doppeläugige hat dies nicht nöthig, weil beide Augen ihre Fehler im Allgemeinen gegenseitig aufheben; wenn er aber ein Auge schliesst, täuscht er sich auch über die Richtung der Aussendinge, solange er nicht besonders gelernt hat, diese Täuschung zu eliminiren.

Kritik einer Abhandlung von Helmholtz über den Horopter*).

§ 128.

I. »Vertheilung der correspondirenden Punkte in beiden Sehfeldern«. HELMHOLTZ rechnet diesmal unter folgenden Voraussetzungen:

1) Bei horizontal und parallel geradeausgestellten Augen liegen die horizontalen Trennungslinien in der Blickebene. Dies ist, wie ich schon früher angab, für meine Augen nicht der Fall, und dasselbe fand später VOLKMANN an sich und drei anderen Herren. Vielleicht Folge der Myopie.

HELMHOLTZ meint, dass die horiz. Trennungslinien bei der erwähnten Augenstellung nur dann nicht in der Blickebene lägen, wenn man die Augen soeben andauernd für die Nähe gebraucht habe. Dies gilt für mich keineswegs; denn ich habe sie oft nach längerem Aufenthalte im Freien oder früh sofort nach dem Erwachen untersucht. VOLKMANN und die erwähnten drei Herren stellten lange Versuchsreihen mit parallelen Gesichtslinien an, sodass schon durch die Dauer der Versuche ein erheblicher Einfluss des von HELMHOLTZ erwähnten Umstandes ausgeschlossen scheint.

2) Horizontale und vertikale Trennungslinien schneiden sich scheinbar nicht rechtwinklig, sondern unter einem Winkel, dessen Tangente man findet, wenn man die Höhe der

*) Archiv f. Ophthalmol. Bd. X. Abth. I.

Augen über dem Boden durch die halbe Augendistanz dividirt. — Letztere Annahme stimmt nicht mit den bisher bekannt gewordenen Thatsachen.

Da meine halbe Augendistanz 34,5 mm, die Höhe meiner Augen über dem Boden 1586mm (excl. Fussbekleidung) beträgt, so würde nach obiger Annahme ein Winkel von 88^0 45′ zu erwarten sein, d. h. die Abweichung vom Rechten würde 1^0 15′ betragen: statt dessen beträgt sie bei mir (bei ruhender Accommodation) etwa 0^0 20′. Demnach müsste ich, um mit dieser kleinen Abweichung der Helmholtz'schen Annahme zu genügen 5930 mm, d. h. 19 preussische Fuss lang sein. Die von Volkmann untersuchten Herren müssten, ihre Augendistanz = 64mm (das mittle Maass) gesetzt, folgende ansehnliche Längen haben: Prof. Volkmann über 7′ (oder wenn die Augendistanz die gleiche wäre, wie bei Helmholtz und mir, 7½′), Prof. Welcker 9½′ (oder 10′), Dr. Schweigger-Seidel 12′ (oder beinahe 13′), stud. Käherl 12½′ (oder beinahe 13½′). Es würde also nur Prof. Volkmann der Annahme einigermaassen genügen. Mit Unrecht statuirt Helmholtz für Volkmann eine Abweichung von 1^0 4′; es ist von diesem Werthe noch die Abweichung der horizontalen Trennungslinie von der Blickebene abzuziehen, sodass man 1^0 4′—0^0 13′ = 0^0 51′ erhält.

Wenn Helmholtz die Beobachtungen v. Recklinghausen's über das Schiefsehen eines rechtwinkligen Kreuzes als Stütze seiner eigenen Angaben anführt, so beruht dies auf einem Missverständniss. v. Recklinghausen sah ein rechtwinkliges aufrechtstehendes Kreuz dann schiefwinklig, wenn es nicht über 250mm vom Gesicht entfernt und zugleich seine Ebene senkrecht zur Medianlinie, also zur Gesichtslinie geneigt war, und zwar nahm die scheinbare Verzerrung des Kreuzes zu, je näher dasselbe dem Gesichte war. Lag die Gesichtslinie senkrecht zur Ebene des Kreuzes, so wurde eine Verzerrung nicht wahrgenommen; die scheinbare Lage der vertikalen oder horizontalen Trennungslinie war also sehr veränderlich und zwar abhängig von der Lage des Kreuzes zum Auge. v. Recklinghausen nahm deshalb mit Recht keine Rücksicht auf diese sehr variable Verzerrung, als er den Horopter berechnete. Helmholtz dagegen hat, um eine Basis für seine neue Rechnung zu gewinnen, angenommen, die Anordnung der Richtungslinien sei eine constante, von optischen Aenderungen unabhängige. Der Beweis für die Richtigkeit dieser Annahme ist noch zu führen; keinenfalls aber dürfen die Beobachtungen v. Recklinghausen's als eine Bestätigung derselben angesehen werden.

3) Eine analoge Abweichung wie die vertikale Trennungslinie, d. h. der mittle Längsschnitt der Netzhaut zeigen auch die seitlichen Längsschnitte, sodass das ganze System der Längsschnitte zu dem System der Querschnitte geneigt erscheint. Diese Annahme habe ich aus mathematischen Gründen

und auf Grund eines Versuchs von v. Recklinghausen, welcher gut dazu stimmt (s. S. 245), ebenfalls gemacht. Ein exacter Beweis für dieselbe fehlt jedoch bis jetzt.

Der nette Versuch, welchen Helmholtz (l. c. S. 4) zum Beweise anführt, besticht mehr als er beweist. Wer exacte Versuche über den Ortsinn der excentrischen Netzhautpartieen angestellt hat, wird wissen, dass man dabei den Augen möglichst wenig Objecte bieten darf. Eine Figur, wie die von Helmholtz angegebene, durch welche die Netzhaut mit Contouren überschüttet und die Aufmerksamkeit völlig zersplittert wird, ist zu obigem Zwecke nicht brauchbar. Uebrigens giebt mir der Versuch nicht entfernt das von Helmholtz angegebene Resultat, wie schon aus meinen früheren Angaben von selbst folgt.

Die unter 1) und 2) erwähnten Annahmen würden also, wenn sie Helmholtz bei genauerer Messung für seine Augen bestätigt fände, für jetzt noch als individuell anzusehen sein; 3) kann man als wahrscheinlich und für die Rechnung sehr bequem gelten lassen.

Ich würde diese scheinbar so unwesentlichen Abweichungen des Helmholtz'schen Schema's von dem zeither üblichen nicht so genau erörtert haben, wenn nicht Helmholtz eine ganze Theorie darauf gebaut hätte, die ich unten zu widerlegen suchen werde.

Im Uebrigen hat Helmholtz ganz denselben Weg eingeschlagen, den ich schon in § 77—82 gefolgt bin, obwohl er für dieselben Dinge durchgehends andere Bezeichnungen gewählt hat, als die von mir schon früher eingeführten; warum, hat er nicht angegeben. Er benützt, wie ich, eine Hülfskugelfläche, um von der factischen Gestalt der Netzhaut unabhängig zu werden, nennt dieselbe aber »Sehfeld«, was ich nicht praktisch finde, weil es Anlass zu Missverständnissen geben wird. Die Abmessung der Netzhaut erfolgt auch bei Helmholtz nach Höhe und Breite, d. h. nach Quer- und Längsschnitten.

Wenn Helmholtz nicht, wie ich, den Kreuzungspunkt der Richtungslinien, sondern den der Visirlinien als Mittelpunkt der Hülfskugelfläche nimmt, so wird dadurch in der Rechnung selbst nichts geändert. Ich hatte übrigens Grund, es nicht zu thun. Denn eine allgemeine Horopterbestimmung ist nur unter der Annahme möglich, dass das Ferne und Nahe bei einer und derselben Augenstellung gleich scharf gesehen wird. Will man erst die Zerstreuungskreise mit einrechnen, so verliert man die allgemeine Grundlage für die Rechnung. Denn der besondre Fall, dass man völlig isolirte d. h. frei im Raume oder auf einer homogenen Fläche liegende

Punkte oder Linien sieht, kommt in Wirklichkeit verhältnissmässig selten vor, und nur für solche Fälle haben die Visirlinien überhaupt einen Sinn. Die Contouren ausgedehnter Objecte unterliegen ganz anderen Gesetzen, weil man dieselben durchaus nicht für gewöhnlich in die Mitte des Gebietes ihrer Zerstreuungskreise verlegt — es müsste sonst keine Irradiation geben. Die Visirlinien sind daher für das gewöhnliche Sehen nur von untergeordneter Bedeutung und die Horopterberechnung wird nicht exacter, wenn man auf sie Rücksicht nimmt.

II. »Form des Horopters.« HELMHOLTZ bestimmt den Horopter, wie ich dies früher in meiner ersten Arbeit (§ 77—82) ebenfalls gethan habe, mit Hülfe des Längs- und Querhoropters, nennt jedoch ersteren Vertikal-, letzteren Horizontalhoropter. Ich selbst habe solche Bezeichnungen, welche die Vorstellung einer bestimmten Lage relativ zum Erdhorizonte erwecken, absichtlich vermieden, daher ich auch meine ältere Bezeichnung im Folgenden beibehalten werde.

Zunächst wird von HELMHOLTZ die Gleichung für die Gesammtheit derjenigen Partialhoropteren entwickelt, welche durch zwei entsprechende Ebenenbüschel erzeugt werden, deren Axen in der Aequatorialebene des Auges liegen. Diese Gleichung (5) ist unrichtig. Sie würde nur richtig sein, wenn HELMHOLTZ das alte Schema der Identität zu Grunde gelegt hätte. Wollte man aus zwei nach dieser Gleichung bestimmten Partialhoropteren den Totalhoropter ableiten, so würde man für eine und dieselbe Augenstellung, je nach der Wahl der Partialhoropteren, verschiedene Totalhoropteren erhalten, während doch der Totalhoropter nur einer sein kann.

Der Fehler ist, dass HELMHOLTZ den Winkel η ganz allgemein gleich η' gesetzt hat. Aber das Wesen des von HELMHOLTZ angenommenen Schema's liegt gerade darin, dass diese beiden Winkel im Allgemeinen nicht gleich sind, sondern dass dies nur der Fall ist für die Abmessung der Netzhaut nach Längsschnitten und Querschnitten, d. h. wenn man bei der Abmessung vom horizontalen und scheinbar vertikalen Meridian ausgeht. Es ist HELMHOLTZ das eigentliche mathematische Princip des von ihm selbst angenommenen Schema's entgangen. Dasselbe beruht darauf, dass die Richtungs- oder Visirlinienbüschel projectivisch sind.

Dieser Fehler ist zwar fundamental, hat aber auf die weitere Rechnung keinen Einfluss gehabt, weil HELMHOLTZ glücklicherweise

gerade die beiden Partialhoropteren berechnet hat, auf welche allein die im Allgemeinen ungültige Gleichung passt. Er betont jedoch selbst, dass dies für das Wesen seiner Rechnung zufällig ist.

Als Totalhoropter, den HELMHOLTZ übrigens Punkthoropter nennt, bezeichnet er den Durchschnitt zweier der erwähnten Partialhoropteren, d. h. »im Allgemeinen eine Curve doppelter Krümmung, wie sie durch die Durchschneidung zweier Hyperboloide entsteht.«

Dies ist unrichtig und erweckt ungemässe Vorstellungen von der Curve. Denn jener Satz besagt, die Curve sei vierten Grades, und in der That findet HELMHOLTZ weiterhin für gewisse einfache Specialfälle allemal eine Curve vierten Grades, während doch die Curve, wie ich zeigte, nur dritten Grades ist.

Eine Curve, wie sie bei Durchschneidung zweier einschaliger Hyperboloide entsteht, kann sehr verschiedene Gestalt haben. Die durch den Durchschnitt zweier geradliniger Partialhoropteren entstehende Curve ist nur ein besonderer Fall unter den möglichen. Diese Besonderheit entsteht dadurch, dass die beiden Partialhoropteren stets eine Gerade gemein haben. Der Hauptfehler ist der, dass HELMHOLTZ diese Gerade mit zum Horopter rechnet, während sie doch zwar zum Durchschnitt der Partialhoropteren, aber nicht zum Totalhoropter gehört. Daher denn letzterer nicht eine Curve vierten, sondern nur dritten Grades ist.

Es war auch hier ein günstiger Zufall, dass HELMHOLTZ gerade den Längs- und Querhoropter zur Rechnung benützte, denn hierbei fällt die erwähnte Gerade hinter die Augen, kommt also praktisch nicht in Betracht. Hätte aber HELMHOLTZ z. B. den Längs- und den Meridianhoropter benützt, so wäre der Fehler auch praktisch sehr ins Gewicht gefallen.

Längshoropter und Querhoropter, wie sie HELMHOLTZ richtig entwickelt, weichen natürlich in Nichts (ausser in ihrer relativen Lage zu einander) von den Angaben ab, die ich theils schon in § 77 bis 82, theils § 103 über dieselben gemacht habe.

Einen Fehler begeht HELMHOLTZ noch insofern, als er von der Kegelfläche des Längshoropters der symmetrischen Augenstellungen dasjenige Stück ausschliessen will, »welches nach innen zwischen denjenigen beiden geraden Linien liegt, die von der Spitze des Kegels durch die beiden Centra der Visirlinien gezogen sind. Die Punkte dieses Stückes würden sich nämlich, sagt HELMHOLTZ, in beiden Sehfeldern zwar in gleichen Abständen von den scheinbar vertikalen Meridianen,

aber nicht auf correspondirenden Seiten derselben abbilden«. Dies ist unrichtig. Ein ähnlicher Irrthum findet sich schon in der ersten Arbeit von HELMHOLTZ in Betreff des Meridianhoropters.

Wenn bis hierher, trotz der verschiedenen Voraussetzungen der Rechnung, die Arbeit von HELMHOLTZ (abgesehen von den eben erwähnten Fehlern) mit der meinigen in vollem Einklang sein musste, so werden doch in Betreff der Gestalt des Totalhoropters die Ergebnisse verschieden sein müssen, weil nach dem neuen Schema Längs- und Querhoropter eine andere Lage zu einander haben, und also ihr Durchschnitt anders ausfällt. Daher stammen die abweichenden Angaben von HELMHOLTZ, auf die ich hier nicht näher einzugehen brauche, weil sie in der Form, wie sie HELMHOLTZ vorträgt, nur individuelle Bedeutung haben. Denn weder liegen bei andern Beobachtern die horizontalen Trennungslinien in der Blickebene der Primärstellung, noch ist die Primärstellung bei Allen zugleich eine Horizontalstellung, noch ist das LISTING'sche Gesetz streng gültig. Die von HELMHOLTZ gegebene Construction passt daher nur gerade für seine Augen. Wer ein Interesse daran hat, die Lage des Totalhoropters für eine bestimmte symmetrische Augenstellung zu kennen, wird zuvor die Lage seiner Trennungslinien bei dieser Augenstellung bestimmen, und darnach die Lage der Horoptergeraden und der Ebene der Horoptercurve trigonometrisch suchen müssen, keineswegs aber wird er die HELMHOLTZ'sche scharfsinnige Construction benützen dürfen.

Wie sehr hierbei durch eine kleine Verschiedenheit der Voraussetzungen die Form des theoretischen Totalhoropters abgeändert werden kann, zeigt sich z. B., wenn man die Angaben von HELMHOLTZ mit denen vergleicht, welche ich S. 246 auf Grundlage eines, dem HELMHOLTZ'schen ganz analogen Schema's gemacht habe. Ich habe dort nicht, wie HELMHOLTZ, von Hyperbeln und Parabeln, sondern nur von Ellipsen gesprochen. Der Fall der Parabeln und Hyperbeln kann nehmlich nur eintreten, wenn man mit HELMHOLTZ annimmt, dass bei der Primärstellung die horizontalen Trennungslinien in der Blickebene liegen. Nun hatte ich aber dort nur die Angaben von VOLKMANN vor mir. welche eine solche Annahme nicht zuliessen. Nach diesen Angaben und nach meiner Erfahrung liegen bei der Primärstellung die inneren Enden der »Horizontalaxen« (Queraxen) über der Blickebene. Der Fall einer parabolischen oder hyperbolischen Horopterlinie ist nur möglich, wenn sowohl die »Horizontalaxen« als die »scheinbaren Vertikalaxen« sich unterhalb der Blickebene schneiden, und zugleich der Fixationspunkt erheblich fern liegt. Ehe nun die innern Enden der Horizontal-

axen unter die Blickebene gedreht werden können, muss nach LISTING's Gesetz der Fixationspunkt den Augen schon so nahe gerückt sein, dass eine hyperbolische oder parabolische Horopterlinie nicht mehr möglich ist. Daher denn auch hieraus hervorgeht, dass eine Berücksichtigung aller individuellen Besonderheiten mancherlei unwesentliche Weitläufigkeiten mit sich bringt.

Es passen also meine S. 246 (übrigens wegen der Unwichtigkeit der Sache nur nebenbei gemachten) Angaben zwar nicht für die Augen von HELMHOLTZ, wohl aber für alle Diejenigen, deren Augen bisher auf die Lage ihrer Trennungslinien untersucht worden sind.

Bei Aufzählung der Fälle, in denen der Totalhoropter aus einer Geraden und einem Kegelschnitte besteht, hat HELMHOLTZ den von mir auf S. 248 berücksichtigten Fall übersehen, wo trotz unsymmetrischer Augenstellung, doch identische Meridiane in der Blickebene liegen, ein Fall, der bei Annahme des alten Schema's nicht eintreten konnte.

Will man das Horopterproblem auch auf Grundlage des neuen Schema's der Identität erschöpfend lösen, so muss man es allgemeiner fassen, als HELMHOLTZ gethan. Geometrisch geschieht dies in ganz analoger Weise, wie ich dies in § 99—105 für das alte Schema gethan habe. Man hat nur zu bedenken, dass die beiden Strahlbüschel zwar projectivisch aber nicht projectivisch gleich sind.

Die Partialhoropteren haben dann im Allgemeinen nicht mehr jene besonderen Eigenschaften, wie sie in § 100 angegeben wurden, d. h. die einschaligen Hyperboloide und die Kegel sind nicht mehr stets solche, dass ihre Kreisschnitte zu einem ihrer Strahlen rechtwinklig liegen, die hyperbolischen Paraboloide sind nicht immer gleichseitige, die Ebenenpaare schneiden sich nicht stets rechtwinklig. Nur vom Längs- und Querhoropter gelten die in § 103 gemachten Angaben nach wie vor. Der Totalhoropter ist nach wie vor dritten Grades, aber er liegt nicht immer auf einem Kreiscylinder, sondern nur auf einem Cylinder überhaupt, und in den besonderen Fällen besteht der Totalhoropter nicht immer aus einem Kreise und einer Geraden, sondern aus einem Kegelschnitte und einer Geraden. Dies würden die Hauptergebnisse der allgemeinen Lösung des Problems sein, auf welche HELMHOLTZ jedoch nicht eingegangen ist.

Für den Geometer entstehen also aus der Einführung des neuen Schema's der Identität keinerlei neue Schwierigkeiten; es wird nur der allgemeine Fall an Stelle des besonderen gesetzt. Dem nicht

mathematisch Geübten aber bringt das neue Schema soviel Schwierigkeiten und hemmt ihm so sehr die Uebersicht, dass ich schon aus diesem Grunde stets zunächst das alte Schema, als einen idealen Fall, der Betrachtung zu Grunde gelegt wissen möchte; und dies um so mehr, als die im neuen Schema angenommene Anordnung der Richtungslinien nicht nur relativ grossen individuellen Verschiedenheiten unterliegt, sondern auch vielleicht bei demselben Individuum eine ganz veränderliche ist, je nach der Lage der Objecte und der Accommodation des Auges.

III. »Bedeutung des Horopters beim Sehen«. Dieser Abschnitt der Arbeit leidet an einem fundamentalen Fehler. Was im Totalhoropter liegt, soll nach HELMHOLTZ's Ansicht am richtigsten, d. i. der Wirklichkeit am entsprechendsten localisirt werden. Hiervon gilt, wie oben gezeigt wurde, so ziemlich das gerade Gegentheil. Alles was im Horopter liegt, erscheint (bei Ausschluss aller anderweiten Motive der Localisation) in der Kernfläche des Sehraumes, d. h. in einer zur Hauptsehrichtung senkrechten Ebene; folglich kann im Allgemeinen die scheinbare Gestalt und Lage des im Horopter Gelegenen seiner wirklichen Gestalt und Lage nicht entsprechen.

HELMHOLTZ führt nur zweierlei zum Beweise an: erstens den in § 118 *b* von mir besprochenen Versuch, welcher, wie ich zeigte, seine Ansicht nicht nur nicht beweist, sondern vielmehr widerlegt, und zweitens die bekannte Thatsache, dass eine Landschaft ihre scheinbare Tiefenausdehnung verliert und mehr wie ein blosses Gemälde erscheint, wenn man sie mit seitwärts geneigten oder verkehrt gehaltenem Kopfe betrachtet. HELMHOLTZ ist nehmlich der Ansicht, dass im Allgemeinen die Fussbodenfläche der Totalhoropter der horizontal und parallel geradeaus gestellten Augen sei. Wie ich (S. 246 und 302) erörterte, würde bei dieser Augenstellung der Totalhoropter eine der Blickebene parallel und unterhalb derselben gelegene Ebene dann sein, wenn die horizontalen Trennungslinien in der Blickebene lägen und die vertikalen nach unten convergirten. Da nun ersteres bei den bis jetzt darauf untersuchten Personen, wie oben gezeigt wurde, nicht der Fall ist, so kann schon darum ihr Horopter bei der erwähnten Augenstellung keine Ebene, sondern nur eine der

Blickebene parallele in der Medianebene gelegene Gerade sein*) (vergl. § 79). Wollten wir aber gleichwohl annehmen, die horizontalen Trennungslinien lägen bei jener Stellung in der Blickebene, so würde uns die Messung der Lage der vertikalen Trennungslinien zeigen, dass die Ebene des Horopters nicht mit der Fussbodenfläche zusammenfallen kann, sondern unterhalb derselben liegen muss. Denn wie oben schon gezeigt wurde, steht HELMHOLTZ mit der von ihm angenommenen grossen Divergenz seiner Trennungslinien ($2^0\ 26'$) ganz allein, und fanden andere Beobachter viel geringere Werthe.

Bis jetzt hat also die Fusshoroptertheorie keinen empirischen Halt. Gesetzt aber, die Augen von HELMHOLTZ wären die normalen und die der fünf anderen Beobachter die abnormen, so fragt sich, was wir dadurch gewinnen könnten, dass der Totalhoropter der parallel und horizontal geradeaus blickenden Augen im Fussboden läge: eine genauere Erkenntniss der wirklichen Lage des Fussbodens, d. h. seiner horizontalen Ausdehnung, wie dies HELMHOLTZ will, gewiss nicht. Hätten wir keine anderweite Erfahrung über die wirkliche Lage des Fussbodens, so würde uns derselbe, sobald er in die Horopterebene oder ihr parallel zu liegen kommt, vielmehr als eine vertikale Fläche erscheinen müssen. Dass er dies, beim Blick in die weite Ferne, nicht thut, sondern annähernd horizontal, d. h. schwach nach dem Horizonte aufsteigend erscheint, ist lediglich in unserer Erfahrung über seine wirkliche Lage begründet, daher wir ihn denn mit einem Auge ebensoweit hingestreckt sehen, wie mit zweien. In Betreff des im Horopter Gelegenen leistet nehmlich das Doppelauge durchaus nicht mehr als das Einauge, wie oben gezeigt wurde.

HELMHOLTZ legt grosses Gewicht auf das veränderte Aussehen der Landschaft, wenn man sie verkehrt ins Auge fallen lässt. Aber er hat übersehen, dass man diesen Versuch ganz mit demselben Effecte auch mit nur einem Auge anstellen kann. Hierbei ist ein Einfluss des Horopters selbstverständlich ausgeschlossen. Es ist schon wiederholt darauf hingewiesen worden (u. A. von FÖRSTER), dass wir viel geneigter und geübter sind, das auf der Netzhaut tiefer Gelegene ferner, das höher Gelegene näher zu sehen

*) Abgesehen von einem praktisch nicht in Betracht kommenden Kegelschnitte.

als umgekehrt. Dies lässt sich leicht im Kleinen zeigen. Man spanne eine Anzahl parallele Fäden über einen Rahmen und halte die Fläche des Rahmens der Antlitzfläche parallel und so, dass die Fäden vertikal liegen. Schliesst man dann ein Auge und neigt den Rahmen mit dem obern Ende vom Gesichte weg, so kann diese Neigung ziemlich stark werden, ehe wir den Eindruck des Parallelismus der Fäden verlieren (wenn wir uns nicht geradezu Mühe geben, sie convergent zu sehen); neigen wir dagegen den Rahmen entgegengesetzt, so scheinen die Fäden schon bei ganz geringer Neigung nach unten zu convergiren. Dieser Versuch erklärt sich leicht aus unserer langen Gewohnheit, horizontale Flächen von oben herab zu sehen und sie der Wirklichkeit gemäss auszulegen; der erwähnte Landschaftsversuch, soweit derselbe nur das wirklich in der Horopterebene Gelegene betrifft, fällt unter dieselbe Erklärung.

Sofern es sich also um die Wahrnehmung der horizontalen Lage des Fussbodens handelt, nützt uns die Divergenz der Trennungslinien beim Blick in weite Ferne nichts, sondern schadet vielmehr, wie sich leicht zeigen lässt. HELMHOLTZ legt noch Gewicht darauf, »dass auch, wenn wir einen gerade vor uns liegenden, nicht unendlich entfernten Punkt der Fussbodenfläche fixiren, zwar nicht die ganze Fläche Horopter ist, aber doch wenigstens die gerade mediane Horopterlinie immer noch ganz in der Bodenfläche liegt«. Was meine Augen betrifft, so giebt mir z. B. eine Eisenbahnschiene, wenn ich sie fixire, schon bei noch sehr ferner Lage des Fixationspunktes mit ihrem jenseit des letzteren gelegenen Theile ungekreuzte, mit ihrem näher liegenden gekreuzte Doppelbilder*), wodurch also das Erkennen ihrer wirklichen Lage erleichtert, d. h. der Eindruck der angenähert horizontalen Lage erhöht wird; denn die ungekreuzten Doppelbilder erscheinen ferner als die gekreuzten.

HELMHOLTZ erwähnt auch, dass das Relief der Bodenfläche feiner unterschieden werde, wenn letztere im Horopter liegt, als andernfalls, und dies ist richtig. Aber das Relief unterscheiden, und das Relief im Ganzen richtig localisiren, d. h. lang hingestreckt sehen, sind zwei ganz verschiedene Forderungen, die sich sogar bis zu einer gewissen Grenze gegenseitig ausschliessen.

*) Wie ich bei schwacher Divergenz oder Erhöhung der Convergenz leicht erkennen kann.

Wie von mir gezeigt wurde, erscheint alles im Längshoropter Gelegene im Allgemeinen in der Kernfläche, welche ursprünglich eine Ebene ist, die aber die verschiedenste Gestalt annehmen kann, wenn die in ihr liegenden Bilder noch der auf Erfahrung und Urtheil beruhenden Tiefenauslegung unterliegen; letzteres ist aber kein binoculares, sondern nur monoculares Tiefsehen, denn es ist beim einäugigen Sehen genau ebenso eindringlich. Alles ausserhalb des Längshoropters Gelegene giebt Doppelbilder, die ausserhalb, d. h. vor oder hinter der Kernfläche erscheinen. Je näher nun eine Anzahl Punkte dem Längshoropter liegt, desto kleiner sind die Tiefenwerthe ihrer einfach gesehenen Doppelbilder. Kleine Raumgrössen aber werden mittels der Netzhaut feiner in ihrer Grössenverschiedenheit erkannt, als grosse, weil sich nach dem bekannten WEBER'schen Gesetze das Unterscheidungsvermögen auch der extensiven Empfindungen nicht an die absoluten, sondern an die relativen Unterschiede knüpft. Daher denn bis zu einer gewissen natürlichen Grenze die Tiefenunterscheidung der einfach gesehenen Doppelbilder um so feiner ist, je näher der Kernfläche sie erscheinen, d. h. je kleiner ihre Tiefenwerthe sind. Mit andern Worten heisst dies, ein Relief wird als solches, d. h. in Betreff der feineren körperlichen Ausarbeitung bis zu einer gewissen Grenze um so feiner unterschieden, je näher es dem Längshoropter liegt. Um ein Beispiel anzuführen, so würde eine Reliefkarte ceteris paribus am feinsten gesehen werden, wenn man sie in den Längshoropter brächte, d. h. also, wenn man ihr beim Nahesehen eine cylindrische oder kegelförmige Krümmung gäbe: ihre Gestalt im Ganzen, d. h. ihre Krümmung würde dann zwar verkannt, aber das Detail des Reliefs am feinsten unterschieden werden. Ebenso würde der gänzlich Unerfahrene, d. h. nur auf die Raumgefühle der Netzhaut Angewiesene, wenn der Fussboden in seinem Längshoropter oder, was hier dasselbe bedeutet, im Totalhoropter läge, die wirkliche Lage desselben völlig verkennen, d. h. er würde ihn vertikal sehen, aber er würde zugleich das Relief des Fussbodens relativ am feinsten unterscheiden können.

HELMHOLTZ hat für die erwähnte Annahme, dass das im Horopter selbst Gelegene am richtigsten localisirt werde, keinerlei Erklärung versucht. Hätte er es gethan, so hätte er sich dabei lediglich

auf die Richtungslinien- oder Projectionstheorie stützen können; und ich glaube in der That, dass seine ganze Horoptertheorie noch als eine versteckte Folge seiner früheren Hinneigung zu jener, seitdem hinreichend widerlegten Theorie des Sehens anzusehen ist. Auch in der Arbeit von HELMHOLTZ über die Augenbewegungen verrieth es sich wiederholt, dass der scharfsinnige Forscher sich noch keineswegs von jener irrigen Theorie, ihren Voraussetzungen und Folgerungen hinreichend freigemacht hat.

Druck von Breitkopf und Härtel in Leipzig.

R





